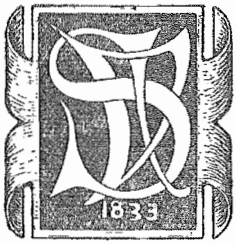
NATUURKUNDIGE VOORDRACHTEN 1923 - 1924

NATUURKUNDIGE VOORDRACHTEN

NIEUWE REEKS No. 2

VOORDRACHTEN GEHOUDEN IN DE
MAATSCHAPPIJ DILIGENTIA TE 'S-GRAVENHAGE



N.V. BOEKHANDEL V/H W. P. VAN STOCKUM & ZN.
'S-GRAVENHAGE — 1924.

INHOUD.

	Pag.
Theorie der Quanta en Atoombouw door Prof. P. EHRENFEST	1
De ontwikkeling van ons sterrekundig wereldbeeld door Dr. A. PANNEKOEK	64
Malaria en hare bestrijding van een wetenschappelijk en praktisch standpunt bezien door Dr. H. ALDERSHOF	79
Telefonie over groote afstanden door Ir. A. E. R. COLLETTE	91
Vijftig jaren geneeskunde door Dr. C. WINKLER, Hoogleeraar te Utrecht	109
Het wereldstelsel naar de nieuwste onderzoekingen door Dr. C. EASTON	131
De leer der atomen voorheen en thans door Dr. D. COSTER	143
Chemie en straling door H. R. KRUYT	156
Gebergtevorming en denudatie door Prof. Dr. H. RUTTEN	164
De chemie van het verven in de Textielindustrie door Dr. H. B. HOLSBOER	172
Eenige problemen uit de moderne draadlooze telegrafie en telefonie door Dr. BALTH. VAN DER POL JR.	180
Een groot Haagsch astronoom door Prof. Dr. A. A. NIJLAND	190

THEORIE DER QUANTA EN ATOOMBOUW.

VIJF VOORDRACHTEN GEHOUDEN IN DE MAATSCHAPPIJ DILIGENTIA DOOR PROF. DR. P. EHRENFEST.

BESCHREVEN DOOR G. DIEKE.

INLEIDING.

Als men den bouw der atomen onderzoekt, bevindt men, dat de karakteristieke grootheden, die men daarbij tegenkomt, drie natuurconstanten bevatten. Deze zijn:

1) De lading van het electron

$$e = 4{,}774 \,.\, 10^{-10}\text{ e.st. eenheden.}$$

2) De massa van het electron

$$m = 8{,}996 \,.\, 10^{-27}\text{ g.}$$

3) Een grootheid h, genaamd de constante van *Planck* (in het Duitsch *Wirkungsquantum)*

$$h = 6{,}54 \,.\, 10^{-27}\text{ erg.sec.}$$

De eerste twee grootheden hebben een beteekenis, waarmede iedereen vertrouwd is, terwijl de grootheid h een veel minder huiselijk karakter heeft. De naam helpt ons hier niets tot het begrijpen. De constante van *Planck,* die van fundamenteel belang is bij alle verschijnselen, waarbij atomen een rol spelen, hangt ten nauwste samen met de *theorie der quanta* en maakt het dus noodzakelijk, alvorens tot het eigenlijke onderwerp, den bouw der atomen over te gaan, iets over deze theorie mede te deelen.

Planck, *Einstein* en *Bohr* zijn de voornaamste natuurkundigen, die de universeele beteekenis van h hebben aangetoond. Maar de methoden, waarmede zij hun resultaten bereikten, zijn zeer gecompliceerd en abstract, en derhalve is het hier niet goed mogelijk, hun gedachtenlijn te volgen. Wij zullen daarom eenigszins dogmatisch de eindresultaten geven, die zij bereikt hebben. Er zij hier al op gewezen, dat een werkelijk begrijpen van al die dingen, waarbij h een rol speelt in het kader van de klassieke voorstellingen, die tot het begin dezer eeuw algemeen in de natuurkunde heerschten, niet mogelijk is. De quantentheorie heeft, genoodzaakt door de experimenteel gevonden feiten, een heel nieuw element in de natuurkunde gebracht.

I. *Op de volgens de oude opvattingen mogelijke bewegingstoestanden van een mechanisch systeem oefent zij een censuur uit (h-censuur).*

II. *Zij regelt de omzetting van mechanische energie in stralingsenergie en omgekeerd.*

Deze twee functies der quantentheorie zullen in de eerste twee hoofdstukken duidelijk gemaakt worden. De drie volgende geven een schetsmatig overzicht van de toepassing der algemeene gedachten van I en II op het atoom, welke wij in hoofdzaak aan *Bohr* te danken hebben. De inhoud ervan laat zich ongeveer als volgt kenmerken:

III. *Toetsing van de grondhypothesen aan het experiment.*

IV. *Verband tusschen optische en Röntgenspectra.*

V. *Opbouw van het periodiek systeem.*

1. DE h-CENSUUR.

Wij kunnen de werking van de h-censuur het best leeren kennen aan de hand van een paar eenvoudig gekozen voorbeelden. De typen van beweging, die wij willen beschouwen, komen ook in de atomen en molekulen voor.

A. Harmonische Oscillator.

Een massadeeltje, dat door elastische veeren naar zijn evenwichtsstand teruggetrokken wordt met een kracht evenredig aan de uitwijking q uit den evenwichtsstand, voert harmonische trillingen uit van den vorm

$$q = U \cos 2\pi\nu t$$

(t tijd, U amplitude, ν frequentie van de trilling). De beweging van elk, ook niet harmonisch heen en weer trillend deeltje is volkomen bekend, als wij zijn uitwijking q en zijn snelheid $\frac{dq}{dt}$ op elk tijdstip kennen. Meer ingewikkelde voorbeelden toonen aan, dat het beter is, in plaats van de snelheid $\frac{dq}{dt}$, de hoeveelheid van beweging $p = m\frac{dq}{dt}$ (m massa van het deeltje) ter beschrijving der beweging te gebruiken.

Wij gaan nu een symbolische voorstelling van de beweging van den harmonischen oscillator maken en wel op de volgende manier:

Als abscis zetten wij op elk tijdstip uit de uitwijking q

en als ordinaat de daarbij behoorende p (fig. 1). Het zoo verkregen punt noemen wij het *phasepunt* van den oscilla-

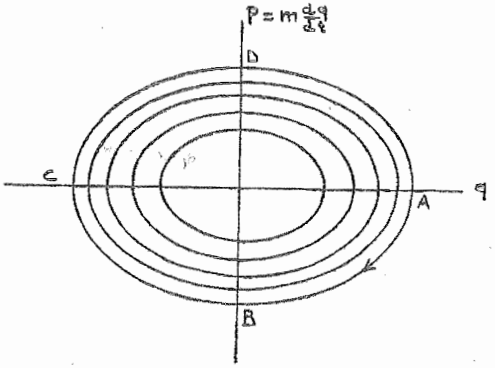


Fig. 1.

tor, en wij willen de beweging van dit punt in het phasevlak nagaan.

Beginnen wij met het tijdstip, waarop het deeltje zijn grootste uitwijking naar rechts bereikt heeft, dan is de snelheid op dat oogenblik nul, en het phasepunt ligt bij A. De uitwijking neemt vervolgens af, en het massadeeltje krijgt een negatieve snelheid, d.w.z. een snelheid naar links, waarvan het absolute bedrag bij het passeeren van den evenwichtsstand een maximum bereikt. De snelheid dus ook p wordt daarna, wat de absolute waarde betreft, hoe langer hoe kleiner en is weer nul als het trillend deeltje zijn grootste uitwijking naar links bereikt heeft (phasepunt in C). Vervolgens wordt p positief en het phasepunt beschrijft den boog CDA en is, nadat een volle trilling verloopen is, weer op zijn oude plaats in A. Een eenvoudige berekening leert, dat de baan, die het phasepunt beschreven heeft, een *ellips* is.

Eliminatie van t uit

$$q = U \cos 2\pi\nu t$$

en

$$p = m\frac{dq}{dt} = -2\pi\nu U \sin 2\pi\nu t$$

geeft n.l. als meetkundige plaats van de phasepunten de ellips

$$\frac{q^2}{U^2} + \frac{p^2}{4\pi^2\nu^2 U^2} = 1.$$

Zijn de trillingen sterk, dus de maximale uitwijking U groot, dan is de phaseëllips ook groot, terwijl bij zwakke trillingen de phasebaan maar een klein gebied omsluit.

Volgens de opvattingen van de gewone *klassieke mechanica* is geen phasebaan boven de andere bevoorrecht. Oscillaties van elke amplitude zijn mogelijk en zoodoende ook het heele continuum van denkbare phaseëllipsen. De *quantentheorie* daarentegen zegt heel iets anders. Door de experimenteele feiten gedwongen *veroorlooft zij alleen die bewegingen, waarvoor het oppervlak van de phaseëllips een geheel veelvoud is van de mysterieuze grootheid h.* Als men vraagt, waarom dat zoo is, dan moet de knapste physicus even goed het antwoord schuldig blijven, als degene, die er voor het eerst van hoort. Wij weten alleen dat het zoo is, niet waarom. Het is een feit, dat evenmin te begrijpen is, als het feit, dat de electriciteit discontinu verdeeld is. Maar omdat het zoo weinig voor aanschouwing vatbaar is, lijkt het veel ongezelliger en onbegrijpelijker.

Aangezien de assen van de phaseëllips zijn U en $2\pi m\nu U$, is haar oppervlak $2\pi^2 m\nu U^2$, en deze grootheid moet op grond van de h-censuur een geheel veelvoud van h zijn. Dus *alleen die trillingen zijn geoorloofd met een amplitude U die aan de betrekking*

(1) $$2\pi^2 m\nu U^2 = \tau h \qquad (\tau = 1, 2, 3 \ldots .)$$

voldoen. Uit het continuum van volgens de klassieke voorstellingen mogelijke bewegingstoestanden heeft de *h*-censuur dus een bepaald discreet aantal uitgekozen en alle andere verboden. De energie van de door de *h*-censuur geoorloofde bewegingen laat zich gemakkelijk uitrekenen. Bij het passeeren van den evenwichtsstand is de potentieele energie nul en de kinetische

$$\frac{m}{2}\left(\frac{dq}{dt}\right)^2 = 2\pi^2 m \nu^2 U^2 = \varepsilon$$

Omdat de som van potentieele en kinetische energie tijdens de beweging constant blijft, stelt dat de heele energie voor. Wegens (1) is

(2) $\varepsilon = \tau h \nu$ $(\tau = 1, 2, 3, \ldots .)$

Ook hierbij dus een sterke afwijking van onze gewone voorstellingen. *De oscillator kan niet elke energie in zich opnemen, maar alleen bepaalde discrete hoeveelheden* $\tau h \nu$.

B. Rotator.

Twee vast met elkaar verbonden massapunten kunnen om een as door hun gemeenschappelijk zwaartepunt loodrecht op hun verbindingslijn draaien en vormen een *rotor* of *ro-*

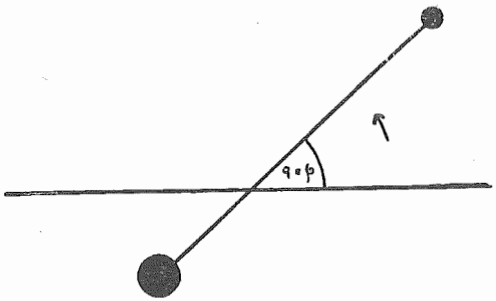


Fig. 2.

tator (fig. 2). De stand van het stelsel is bepaald door den hoek $q = \varphi$ met een vaste richting en de intensiteit der beweging door de hoeksnelheid $\dot{q} = \frac{d\varphi}{dt}$ of voor ons doel beter door het impulsmoment $p = I\dot{q}$ (I traagheidsmoment).

Precies zooals bij den oscillator gaan wij de beweging symbolisch in het q, p vlak voorstellen (fig. 3). Als er geen

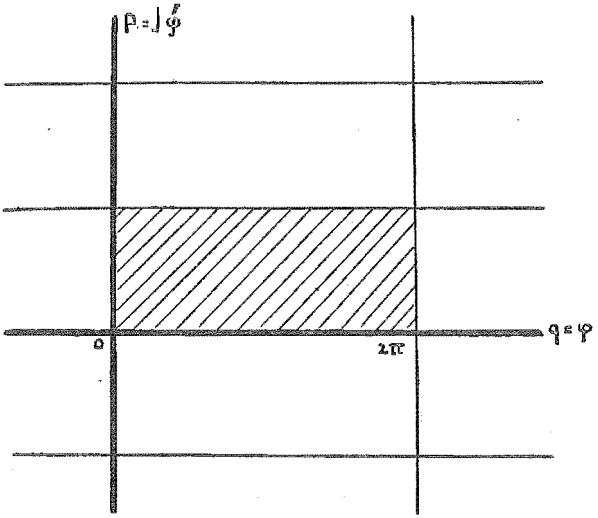


Fig. 3.

uitwendige krachten op den rotator werken, blijft de hoeksnelheid en daarmede p constant, terwijl q voortdurend groeit. De *phasebaan* is dus een rechte lijn evenwijdig aan de q-as. Hoe grooter de hoeksnelheid is, des te verder is de phaserechte van de q-as verwijderd.

Volgens de gewone voorstellingen zijn alle hoeksnelheden mogelijk. De phaserechte kan derhalve op elke hoogte liggen.

Maar precies zooals bij den oscillator zegt ook hier de *h*-censuur: *Alleen die bewegingen zijn geoorloofd, waarvoor het phaseoppervlak een geheel veelvoud van h is.* Nadat $\varphi = q$ de hoek 2π doorloopen heeft, is de rotator weer in zijn ouden stand en daarom moet hier voor het phaseoppervlak genomen worden de rechthoek met de zijden 2π en $I\dot{q}$. De door de *h*-censuur geoorloofde hoeksnelheden zijn dus gegeven door

(3) $$2\pi I\dot{q} = \tau h \qquad (\tau = 1, 2, 3, \ldots\ldots)$$

De energie is

$$\varepsilon = \tfrac{1}{2} I\dot{q}^2$$

en kan wegens de *h*-beperking (3) alleen de discrete waarden

(4) $$\varepsilon = \frac{h^2}{8\pi^2 I}\cdot\tau^2$$

aannemen.

C. Keplerbeweging.

Wij komen nu tot het voorbeeld, dat voor den atoombouw het belangrijkst is.

Twee electrisch geladen deeltjes, waarvan het eene (de *kern)* een groote massa M en een positieve lading $+E$ heeft en het ander (het *electron*) een kleine massa m en een negatieve lading $-e$, vormen samen een stelsel, dat zeer groote overeenkomst vertoont met het astronomische stelsel *zon-planeet*. Immers de electrisch geladen deeltjes werken op elkaar met een kracht, gegeven door de wet van *Coulomb*, die precies denzelfden vorm heeft, als de attractiewet van *Newton*, die de planetenbeweging beheerscht. Nu weten wij, dat de planeten op ellipsen om de zon heen loopen. Hetzelfde geldt dus voor het electron t.o.v. de kern. Wij willen ons voorloopig tot de cirkelvormige banen beperken, omdat

die het eenvoudigst te behandelen zijn. Wij beschrijven de beweging door middel van den hoek $\varphi = q$ met een vaste richting en het impulsmoment $p = I\dot{q}$. Men ziet, dat het probleem analoog is aan dat van den *rotator*, dat als voorbeeld B besproken is. Omdat ook hier de hoeksnelheid constant blijft, zijn de symbolische *phasebanen* precies dezelfde als bij den rotator (fig. 3). Daaruit volgt, dat ook bij dit voorbeeld *alleen die bewegingen geoorloofd* zijn, *waarvoor*

(5) $\quad 2\pi I w = 2\pi m r^2 w = \tau h \qquad (\tau = 1, 2, 3 \ldots .)$

$w = \dot{q}$ is de hoeksnelheid en $I = m r^2$ het traagheidsmoment, Omdat r hier niet vast is zooals bij den rotator, hebben wij nog een relatie tusschen r en w noodig, die ons gegeven wordt door de voorwaarde, dat de aantrekking van de kern in evenwicht moet zijn met de middelpuntvliedende kracht

$$m r w^2 = \frac{eE}{r^2}. \tag{6}$$

Door (5) samen met (6) zijn weer bepaalde discrete banen uit het continuum der volgens de gewone mechanica mogelijke uitgekozen. Deze door de h-censuur toegelaten banen hebben den straal [(5) en (6) naar r oplossen]

$$r = \frac{h^2}{4\pi^2 m e E} \cdot \tau^2 = r_1 \tau^2 \qquad (\tau = 1, 2, 3 \ldots) \tag{7}$$

Als dus r_1 de straal van de kleinst mogelijke baan is ($\tau = 1$) hebben de volgende de stralen $4r_1$, $9r_1$, $16r_1$ . . . . enz. (fig. 4).

Rekenen wij uit welke energie het electron op de τ de mogelijke baan heeft, dan vinden wij

$$\varepsilon = -\frac{2\pi^2 m e^2 E^2}{h^2} \cdot \frac{1}{\tau^2} \quad (\tau = 1, 2, 3, \ldots .) \tag{8}$$

Ook hier vinden wij dus weer discrete waarden voor de energie in tegenstelling tot wat de gewone mechanica ons erover zou leeren.

Het lijkt eenigszins wonderlijk, dat de energie hier een negatieve grootheid is. Maar wij zullen zien, dat er niets ongewoons in zit. De energie bestaat n.l. uit twee stukken: het arbeidsvermogen van beweging (kinetische energie), dat

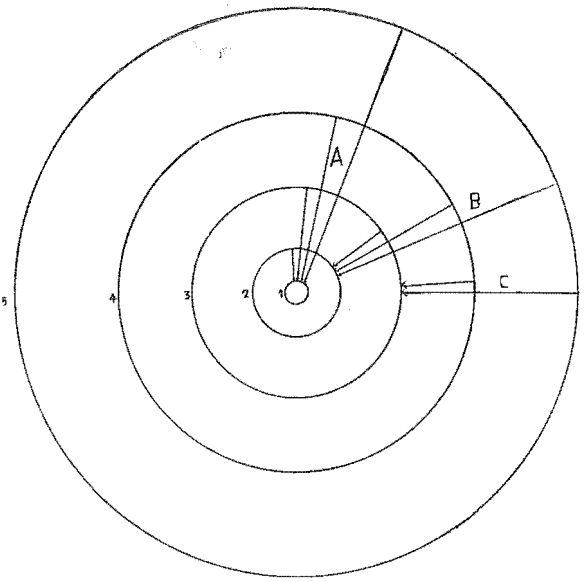


Fig. 4.

altijd positief is, en het arbeidsvermogen van plaats (potentieele energie). Nu is het laatste een grootheid, die alleen dan een beteekenis heeft, als men weet, ten opzichte van welk niveau zij gerekend wordt. Het is immers de arbeid, dien wij krijgen, als wij ons punt op dat niveau brengen. Hebben wij b.v. een gewicht op een tafel en nemen den

grond als niveau t.o. waarvan wij de potentieele energie rekenen, dan is deze positief, want bij het vallen op den grond is het gewicht in staat een positieven arbeid te verrichten. Berekenen wij daarentegen de potentieele energie ten opzichte van het plafond, dan moeten wij zelf arbeid verrichten om het gewicht tot dat niveau te brengen. Het gewicht verricht dan een negatieven arbeid, en dus is zijn arbeidsvermogen van plaats negatief. Iets dergelijks hebben wij bij ons electron, dat om de kern heen loopt. Wij moeten een niveau hebben, ten opzichte waarvan wij de potentieele energie kunnen uitrekenen. Nu zijn er maar twee bevoorrechte niveau's in het model, n.l. de kern en het oneindige. De kern is ongeschikt, omdat wij dan oneindig groote waarden voor het arbeidsvermogen zouden krijgen, en daarom nemen wij het oneindige als normaaldomicilie van het electron. Het electron heeft dan op een eindigen afstand van de kern een negatief arbeidsvermogen van plaats, een *arbeidsschuld*. Het kost n.l. arbeid, het electron tegen de aantrekkende krachten van de kern in naar het oneindige te brengen. Als wij hier van het „*oneindige*" spreken, dan wordt er altijd mee bedoeld dat gebied, waar de invloed van de kern niet meer merkbaar is, waar de kracht, waarmede het electron aan de kern gebonden is, klein is t.o.v. allerlei storende uitwendige krachten. Bij een atoom is het „oneindige" al op afstanden van minder dan een duizendste millimeter bereikt.

Wij hebben nu begrepen dat de potentieele energie een arbeidsschuld is. Hier komt nog bij de kinetische energie die, zooals de berekening leert, precies de helft is van de potentieele, maar natuurlijk positief. Zoo komt het, dat de geheele arbeidsvoorraad, dus de sóm van potentieele en kinetische energie, ook negatief, dus een arbeidsschuld is.

Aan de hand van de drie voorbeelden hebben wij nu gezien, hoe de h-censuur werkt. Zij kiest uit het heele continuum van mechanisch mogelijke bewegingstoestanden die uit, die haar bevallen. *Bohr* neemt aan, dat de daartusschen liggende toestanden ook wel mogelijk zijn, maar alleen voor een heel korten tijd. Alleen de uitgekozen *„gequantiseerde"* toestanden zijn stationnair. Als wij van geoorloofde en ongeoorloofde bewegingen spreken, is dat dus niet heelemaal juist, maar voor het spreken gemakkelijker.

Als men water uit het eene glas in een ander wil overgieten, kan dat niet in willekeurig kleine hoeveelheden gebeuren. Er moet altijd minstens een molekuul overgaan. Zoo is het ook met het overbrengen van energie. Een willekeurig klein bedrag kan geen van onze drie beschouwde stelsels afgeven noch opnemen. De energie kan alleen in zekere quanta afgegeven worden. Nu mag men niet denken, dat de theorie der quanta niets anders is als een atomiseering der energie, dat er dus, evenals er zuurstof- en electriciteitsatomen zijn, ook energieatomen bestaan. Ware dat het geval, dan zou alles zeer eenvoudig zijn. De energiewaarden (2), (4) en (8) toonen ons duidelijk, dat de zaak veel ingewikkelder is. Wij vonden, dat de energie van den oscillator (2) alleen geheele veelvouden van $h\nu$ zijn kan. Het energieatoom, als het bestond, zou dus grooter zijn voor snelle trillingen (groote ν) dan voor langzame (kleine ν). Nog duidelijker is de onmogelijkheid van een energieatoom te zien bij de Keplerbeweging, waar de energie in de stationnaire toestanden gegeven is door (8)

$$\varepsilon = -\frac{C}{\tau^2} \tag{8'}$$

(C is daarbij een constante, die alleen van de lading E van de kern afhangt). Als τ groot genoeg is, kan dat bedrag

willekeurig klein zijn en dus ook het energieverschil tusschen twee naburige quantentoestanden. Het electron kan dan willekeurig kleine energiebedragen afgeven, en er kan dus geen sprake zijn van een energieatoom.

Van het *wezen der h-censuur* begrijpen de physici nu nog even weinig, als toen zij 23 jaar geleden voor het eerst door *Planck* in de physica gebracht werd. Een met den dag groeiend waarnemingsmateriaal dwingt ons eraan te gelooven, omdat wij anders geen mogelijkheid zien, een groot gebied van verschijnselen te verklaren. Wij zullen nog gelegenheid hebben, te zien, hoe vruchtbaar de quantentheorie voor de physica geweest is en nog is. Zij is de aanleiding geweest tot tal van experimenten, waardoor ons inzicht in den bouw der materie en den samenhang der daarin heerschende krachten en wetten een groot stuk is vooruitgekomen. Zelfs als er in de toekomst iemand kwam, die kon aantoonen, dat de grondgedachten der quantentheorie heelemaal fout zijn, dan zou dat haar verdienste, de natuurkunde belangrijk vooruitgebracht te hebben, niet kunnen verkleinen. Maar wij mogen bij al de mooie resultaten, die de quantentheorie opgeleverd heeft, nooit de groote moeilijkheden van principieelen aard uit het oog verliezen, die bijzonder onaangenaam zijn voor dengene, die er naar streeft, zich een beeld van de dingen te vormen, dat vrij is van tegenspraken.

II. DE $h\nu$-RELATIE.

Voor wij verder gaan en de tweede functie leeren kennen, die de mysterieuze grootheid h in de wereld der atomen vervult, zullen wij van de abstracte voorbeelden, die voor

een goed begrijpen der *h*-censuur noodig waren, overgaan tot de belangrijkste en eenvoudigste toepassing, het *waterstofatoom*.

Steunende op experimenten vooral van *Rutherford*, kwam *Bohr* in 1913 tot het inzicht, dat de atomen moeten bestaan uit een positief geladen kern, waaromheen zich electronen bewegen. Het eenvoudigste atoom heeft *waterstof:* de kern heeft de positieve lading $+e$ en één electron loopt er om heen. Het waterstofatoom is dus identiek met ons derde voorbeeld, en wij behoeven nu alleen maar de toen verkregen resultaten met het oog op het waterstofatoom te interpreteeren. Wij vonden dat de *h*-censuur aan het electron alleen veroorlooft op bepaalde discrete banen, die wij *quantenbanen* willen noemen, te loopen. In ons geval waren het cirkels waarvan de straal gegeven is door (7) blz. 9 (fig. 4). Rekent men de waarde der constante r_1 uit dan verkrijgt men ($e = E$ voor waterstof)

$$r = 0{,}533 \,.\, 10^{-8} \,.\, \tau^2 \; cm.$$

Door velerlei proeven kan men aantoonen, dat men in de wereld der atomen te doen heeft met afstanden van de orde van grootte van 10^{-8} cm. Het is een mooie aanwijzing voor de juistheid van *Bohr's* hypothese, dat wij met zijn rekeningen tot deze atomaire grootheden komen.

De *energieinhoud* in de volgens de *h*-censuur geoorloofde bewegingstoestanden is in fig. 5 grafisch voorgesteld. Het waterstofatoom bezit een arbeidsschuld (— teeken!) die het

Fig. 5

grootst is in den toestand waarvoor $\tau = 1$. Het kost veel meer arbeid, het electron van de eerste op de tweede baan te

brengen, dan van de tweede op de derde of van de vierde op de vijfde.

De vraag rijst nu: wat doet het electron als het door de een of andere omstandigheid op b.v. de vijfde baan gebracht wordt en daar nu om de kern heen loopt? Vragen wij dit aan de *klassieke electrodynamica*, dan geeft deze ons het volgende antwoord: Omdat het electron zich niet eenparig op een rechtlijnige baan beweegt, zal het straling uitzenden. Het verliest daarbij energie en gaat op hoe langer hoe kleinere cirkels over, beschrijft dus in werkelijkheid een spiraalvormige baan. Tenslotte moet het met de kern tot botsing komen.

De quantentheorie kan natuurlijk zoo iets niet toelaten. De h-censuur veroorlooft immers alleen die banen, waarvoor $r = r_1 \cdot \tau^2$ en verbiedt alle overige. Zij *beweert, dat het electron op de stationnaire banen* niet *straalt* en dat is een vuistslag in het gezicht van de klassieke electrodynamica.

Maar hoe kan een atoom dan licht geven, zal men verder vragen en blijft het electron altijd op zijn vijfde baan rondloopen? De quantentheorie antwoordt hierop met een nog erger hoonen van de grondwetten der klassieke theorie. Zij zegt: Na een korten tijd is het electron b.v. op de tweede baan. Hoe het daar gekomen is, weet niemand. Men spreekt dan wel van een quantensprong van de vierde op de tweede stationnaire baan. Men mag dit „springen" echter niet letterlijk opvatten. Hoe de overgang gebeurt, is volkomen onbekend.

Vraagt men verder, wanneer en om welke reden het electron dan op de tweede baan springt, dan krijgt men als antwoord:

Precies zooals bij de radioactieve verschijnselen een soort loterij er over beslist, wanneer een atoom uit elkaar zal vallen, zoo regelen de *waarschijnlijkheidswetten* ook den overgang

van het electron van de eene stationnaire baan op een andere. Zooals altijd, wanneer in de natuurkunde van waarschijnlijkheidsrekening wordt gebruik gemaakt, kennen wij ook hier de ware beweegreden niet. Een electron, dat pas op de vijfde baan aangekomen is, heeft evenveel kans direct weer terug te vallen, als een electron, dat er al een heele poos op rondloopt. Evenzoo regelt een loterij, of het electron op de tweede of een andere baan valt. Natuurlijk kan een electron spontaan alleen overgaan in een toestand van kleinere energie. *Het energieverschil $\Delta\varepsilon$ wordt uitgestraald en wel als monochromatische straling van de frequentie*

$$\nu = \frac{\Delta\varepsilon}{h}$$

Dit is het tweede punt, waar de universeele grootheid h zich erin mengt. De fundamenteele betrekking

$$h\nu = \Delta\varepsilon \tag{9}$$

(de $h\nu$-*relatie*) *is weer in conflict met alle tradities der klassieke electrodynamica*. Volgens deze moest de frequentie der straling even groot zijn als de omloopsfrequentie van het electron, terwijl hier geen direct verband bestaat tusschen de frequentie van de uitgezonden straling en de omloopfrequenties op de begin- of eindbaan.

Voor wij op verdere voorbeelden voor deze tweede functie der quantentheorie ingaan, willen wij eerst kijken, welke gevolgtrekkingen wij eruit kunnen halen voor ons *waterstofmodel*.

Hebben wij een vat met waterstofatomen, en is daarin de temperatuur voldoende hoog of gaat er een sterke electrische stroom door, dan krijgen de atomen zoo sterke stooten, dat hun electronen op hoogere quantenbanen getild worden.

Vatten wij een atoom in het oog, welks electron op de zevende baan gebracht is. Het heeft daar een energie $-\frac{B}{7^2}$ (arbeidsschuld). Na een kort oogenblik zal het terugvallen b.v. op de tweede baan, waar zijn energie is $-\frac{B}{2^2}$. Het energieverschil

$$\varepsilon_7 - \varepsilon_2 = B\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{7^2}\right)$$

wordt uitgestraald, en wij krijgen op deze manier een scherpe spectraallijn van de frequentie

$$\frac{\varepsilon_7 - \varepsilon_2}{h} = \frac{B}{h}\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{7^2}\right) = R\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{7^2}\right).$$

In andere atomen maken de electronen andere sprongen, en het gas zendt dus een spectrum uit, waarin de trillingsgetallen van alle lijnen zich laten voorstellen door

$$\nu = R\left(\frac{1}{\tau''^2} - \frac{1}{\tau'^2}\right) \tag{10}$$

Hierbij zijn τ' en τ'' de nummers der begin- en eindbaan en

$$R = \frac{B}{h} = \frac{2\,\pi^2\,m\,e^4}{h^3} \tag{11}$$

Hoe is nu de overeenstemming tusschen deze op grond van *Bohr's* voorstellingen theoretisch verkregen uitkomsten en de experimenteel gevonden spectraallijnen? Wij zullen, om dit te kunnen beoordeelen, eerst zien, wat men, uitgaande van het experiment, over het waterstofspectrum is te weten gekomen. In 1885 vond *J. J. Balmer*, leeraar in Bazel, dat de golflengten van de bekende zichtbare waterstoflijnen H_α, H_β, H_γ, H_δ zich laten voorstellen door de uitdrukkingen

$$\frac{3^2}{3^2 - 2^2}H,\ \frac{4^2}{4^2 - 2^2}H,\ \frac{5^2}{5^2 - 2^2}H,\ \frac{6^2}{6^2 - 2^2}H,$$

waarin H een constante is. De daarmee overeenkomende uitdrukkingen voor de trillingsgetallen zijn

$$(12) \qquad \nu = R\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2}\right) \quad (n=3, 4, \ldots)$$

Later zijn meer lijnen gevonden (tot en met n = 31), waarvan de trillingsgetallen met zeer groote nauwkeurigheid deze wet volgen. Deze reeks van spectraallijnen wordt de *Balmerserie* genoemd, en men heeft zich gedurende meer dan 25 jaren veel moeite gegeven, er een theoretische verklaring voor te vinden, maar *zonder succes*. Eerst *Bohr* slaagde in 1913 erin, en wij hebben gezien, hoe de formule van *Balmer* onmiddellijk uit zijn theorie volgt. Een atoom, waarin het electron uit de derde baan overgaat op de tweede, zendt de lijn H_α uit. Springt het electron van een andere baan terug op de *tweede*, dan wordt altijd een lijn van de *Balmer*serie uitgezonden.

Bijzonder mooi is, dat *Bohr* de constante R uit de drie fundamenteele natuurconstanten m (massa van het electron), e (lading van het electron) en h (constante van *Planck*) kon berekenen, en dat de zoo gevonden waarde binnen de grenzen van de waarnemingsfouten overeenstemt met de experimenteel uit het spectrum bepaalde waarde.

Maar de formule (10) bevat nog meer lijnen dan in de *Balmer*serie voorkomen. Ook de series

$$R\left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2}\right) \text{ en } R\left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2}\right)$$

zijn waargenomen. De eerste ligt ver in het ultraviolet en werd door *Th. Lyman* in 1906 ontdekt en heet naar hem *Lymanserie*. De andere, die naar haar ontdekker (1908) de *Paschenserie* genoemd wordt, ligt in het ultrarood. Verdere series moeten zoo ver in het ultrarood liggen, dat zij niet goed meer waargenomen kunnen worden.

Fig. 6 geeft een voorstelling van deze drie series van waterstof (logarithmische schaal). Van elke serie konden maar de eerste lijnen geteekend worden, omdat de golflengten der volgende te weinig van elkaar verschillen. Met groeiende n naderen de lijnen in elke serie hoe langer hoe meer tot de in de figuur geteekende stippellijn, die de *grens* van de serie genoemd wordt. De frequentie van de grens (b.v. van de *Lyman*serie) vermenigvuldigd met h stelt volgens de theorie van *Bohr* de arbeid voor, die noodig is, om het electron van de grondbaan dier serie ($\tau = 1$) naar het oneindige te verwijderen.

De hoogere lijnen van de *Balmer*serie waren eerst alleen uit het spectrum van astronomische nevels bekend. Later is het gelukt, een aantal van hen ook in het laboratorium voort te brengen, door de waterstof onder een heel lagen druk tot licht geven te brengen. Dat in een niet zeer verdund gas hoogere lijnen niet optreden, is volgens het model van *Bohr* eigenlijk vanzelfsprekend. Als de dichtheid van het gas groot is, zijn de atomen betrekkelijk dicht bij elkaar en de electronenbanen met een groote straal kunnen zich niet ontwikkelen, maar worden door de naburige atomen direct verstoord. De *Balmer*serie verschijnt dan maar tot een bepaalde lijn. Hoe verdunder het gas is, hoe grootere electronenbanen mogelijk zijn en hoe meer lijnen van de *Balmer*serie dus voor den dag komen. [1]) Uit het aantal *Balmer*lijnen van een nevelsterspectrum kan men dus conclusies trekken over de dichtheid van het gas in den nevel.

Onder gebruikmaking van de twee functies der quanten-

[1]) Hetzelfde geldt natuurlijk ook voor de andere series. Daarvan echter konden tot nog toe wegens de experimenteele moeilijkheden maar weinige lijnen worden waargenomen.

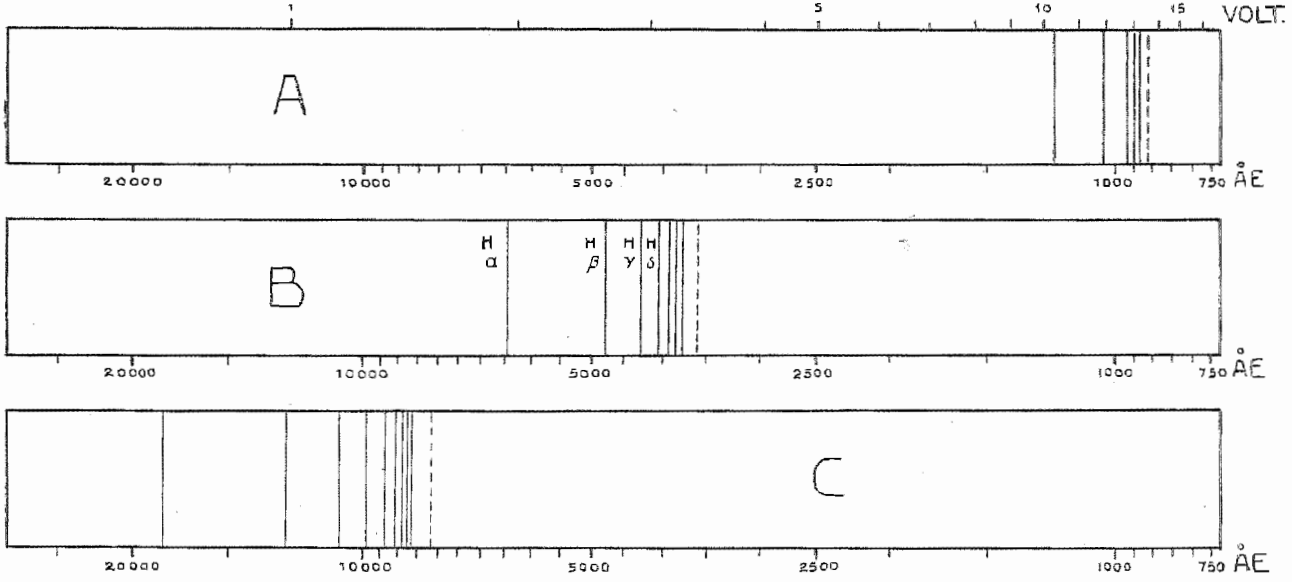


Fig. 6. (De overeenkomstige electionensprongen zijn in fig. 4 aangegeven.)

theorie, de h-censuur en de $h\nu$-relatie, hebben wij dus een volledige verklaring van het waterstofatoomspectrum verkregen. Hier zij nog medegedeeld, dat ook alle fijnere bijzonderheden van het waterstofspectrum en de splitsing der lijnen in een magnetisch of een electrisch veld op grond van *Bohr's* theorie gemakkelijk kunnen verklaard worden.

Maar de formule

$$h\nu = \Delta\varepsilon$$

geldt niet alleen voor het waterstofatoom, maar overal, waar stralingsenergie omgezet wordt in energie van andere soort of waar omgekeerd straling ontstaat. *Einstein* was de eerste, die de algemeene, fundamenteele beteekenis van deze relatie aantoonde (1905) en liet zien, welke vérstrekkende consequenties voor de natuurkunde hieruit volgen. Wij zullen nog enkele eenvoudige voorbeelden bekijken, waarbij de formule $h\nu = \Delta\varepsilon$ aan het experiment getoetst kan worden.

1) Wij hebben gezien, hoe men zich de emissie van licht door waterstof te denken heeft. De *absorptie* gebeurt volkomen analoog. In koud gas van atomaire waterstof moeten zich alle electronen op de eerste quantenbaan bevinden, die de rustbaan van het electron genoemd wordt, ofschoon het electron zich er allesbehalve rustig op gedraagt. Valt nu b.v. geel licht op het gas, dan trekken de atomen zich er niets van aan, en het licht wordt gewoon doorgelaten. Alleen als de frequentie ν van de invallende stralen zóó groot is, dat

$$h\nu = \Delta\varepsilon = \varepsilon_n - \varepsilon_1$$

waarbij hier $\Delta\varepsilon$ de energie voorstelt, die noodig is, om het electron van de eerste ($\tau = 1$) op een willekeurige andere ($\tau = n$) stationnaire baan te brengen, treedt absorptie van het licht van deze frequentie op. Er worden dus alleen bepaalde lijnen uit het spectrum geabsorbeerd, en deze lijnen zijn

identiek met die van de *Lyman*serie. De *Balmer-* en *Paschen*serie daarentegen worden in het algemeen niet geabsorbeerd, omdat niet genoeg atomen aanwezig zijn, waarin de electronen op de tweede of derde baan loopen, die de grondbanen van deze series zijn. Heeft het licht de frequentie van de grens der *Lyman*serie, dan is het in staat, het electron naar het oneindige te brengen, dat wil zeggen het atoom te ioniseeren. Is de frequentie van de invallende stralen nog iets grooter, de daarmee overeenkomende energie dus iets grooter dan de ionisatieenergie, dan ioniseert dat licht het atoom en wel zoo, dat het eruitvliegende electron met het energieoverschot verder loopt. Omdat nu een *vrij* electron *elke energie* kan hebben, worden alle frequenties grooter dan de grens der *Lyman*serie geabsorbeerd. Aan deze grens sluit zich dus naar den kant der kortere golflengten een continu absorptiespectrum aan.

Bij waterstof is de beschreven absorptieproef moeilijk uit te voeren, omdat de absorptielijnen zeer ver in het ultraviolet liggen, waar niet gemakkelijk te werken is, en omdat atomaire waterstof zeer instabiel is. Er vormen zich direct H_2 moleculen, die een heel ander optisch gedrag moeten vertoonen.

Bij andere elementen evenwel, waar de toestand iets ingewikkelder is, maar principieel niet van dien bij waterstof verschilt, zijn de experimenten gemakkelijk te doen en in volle overeenstemming met *Bohr's* theorie uitgekomen.

2) Zooals bekend is, verschillen *Röntgen*stralen alleen in golflengte van gewoon licht. Zij worden voortgebracht door in een vacuumbuis een stuk metaal met electronen van groote snelheid te bombardeeren. De electronen worden daarbij ge-

remd en hun kinetische energie omgezet in stralingsenergie van de Röntgenstralen. Nu is eV de energie van een electron, dat zijn snelheid bij het doorloopen van een potentiaalverschil V verkregen heeft. Bij het remmen van een dergelijk electron kan dus hoogstens het bedrag eV in stralingsenergie omgezet worden. De Röntgenstralen, die ontstaan, hebben derhalve een $h\nu$, die hoogstens gelijk is aan eV. De violette grens (ν_g) van deze Röntgenstralen is dus gegeven door

$$h\nu_g = eV$$

Men heeft deze relatie veelvuldig onderzocht en haar altijd juist bevonden.

3) Precies het tegenovergestelde heeft plaats als ultraviolet of Röntgenlicht op een metalen plaat valt. Het licht is in staat, zijn energie aan electronen, die in het metaal zitten, af te geven. Deze krijgen daardoor een energie ε die gelijk is aan $h\nu$ van het opvallend licht. Een gedeelte ε' van deze energie wordt gebruikt, om de krachten te overwinnen, die het electron in het metaal trachten terug te houden. Dit gedeelte is een constante voor een gegeven metaal. Met de overblijvende energie vliegt het electron dan uit het metaal en daar kan zijn snelheid gemeten worden. Uit de proeven bleek ook voor dit voorbeeld de juistheid der $h\nu$-relatie.

Het laatstbesproken verschijnsel doet ons een middel aan de hand, om de golflengte van korte stralen te meten (vgl. fig. 7). De gewone optische meting met een traliespectroscoop levert al in een gebied, waar de golflengte weinig kleiner dan 1000 ÅE is, groote moeilijkheden op. Met inachtneming van bijzondere voorzorgsmaatregelen is het *Millikan* in de laatste jaren gelukt, tot golflengten van ongeveer 136 ÅE te komen. Bij nog *veel* kortere golflengten, in het gebied der

Röntgenstralen, zijn de golflengten weer gemakkelijk en met groote nauwkeurigheid te meten met behulp van de interferentie in kristaltralies. Maar zoodra de golflengten grooter dan 12—13 ÅE zijn, kan deze methode niet meer toegepast worden. In het tusschengebied, tusschen 13 en 136 ÅE, helpt men zich op de volgende wijze: Men laat de stralen op een schoon metaaloppervlak vallen. Zij geven dan hun energie $h\nu$ aan de electronen binnen het metaal, en deze vliegen met groote snelheid eruit. De energie van de wegvliegende electronen kan gemeten worden door het potentiaalverschil V waardoor zij tot rust gebracht kunnen worden. Uit de vergelijking

$$h\nu = \Delta\varepsilon = eV \tag{13}$$

kan de frequentie ν en daarmede de golflengte van de stralen gevonden worden. De nauwkeurigheid van zoodanige metingen is weliswaar niet zeer groot in verhouding tot de uiterst nauwkeurige optische metingen, maar zij bieden voorloopig nog het eenige middel, in dat gebied golflengten te bepalen.

Een andere, uiterst belangrijke toetsing van de $h\nu$-vergelijking zal in het volgende hoofdstuk worden gegeven.

III. TOETSING VAN DE GRONDVERONDERSTELLINGEN AAN HET EXPERIMENT.

De twee grondaannamen van de theorie van *Bohr*, de h-censuur en de $h\nu$-relatie zijn zoo buitengewoon en vreemd, dat het wel gewenscht is, de aandacht op experimenten te vestigen, die een meer direct bewijs voor de juistheid dier aannamen leveren. Op deze experimenten zullen wij nu iets nader ingaan. Zij zijn het gemakkelijkst te begrijpen voor

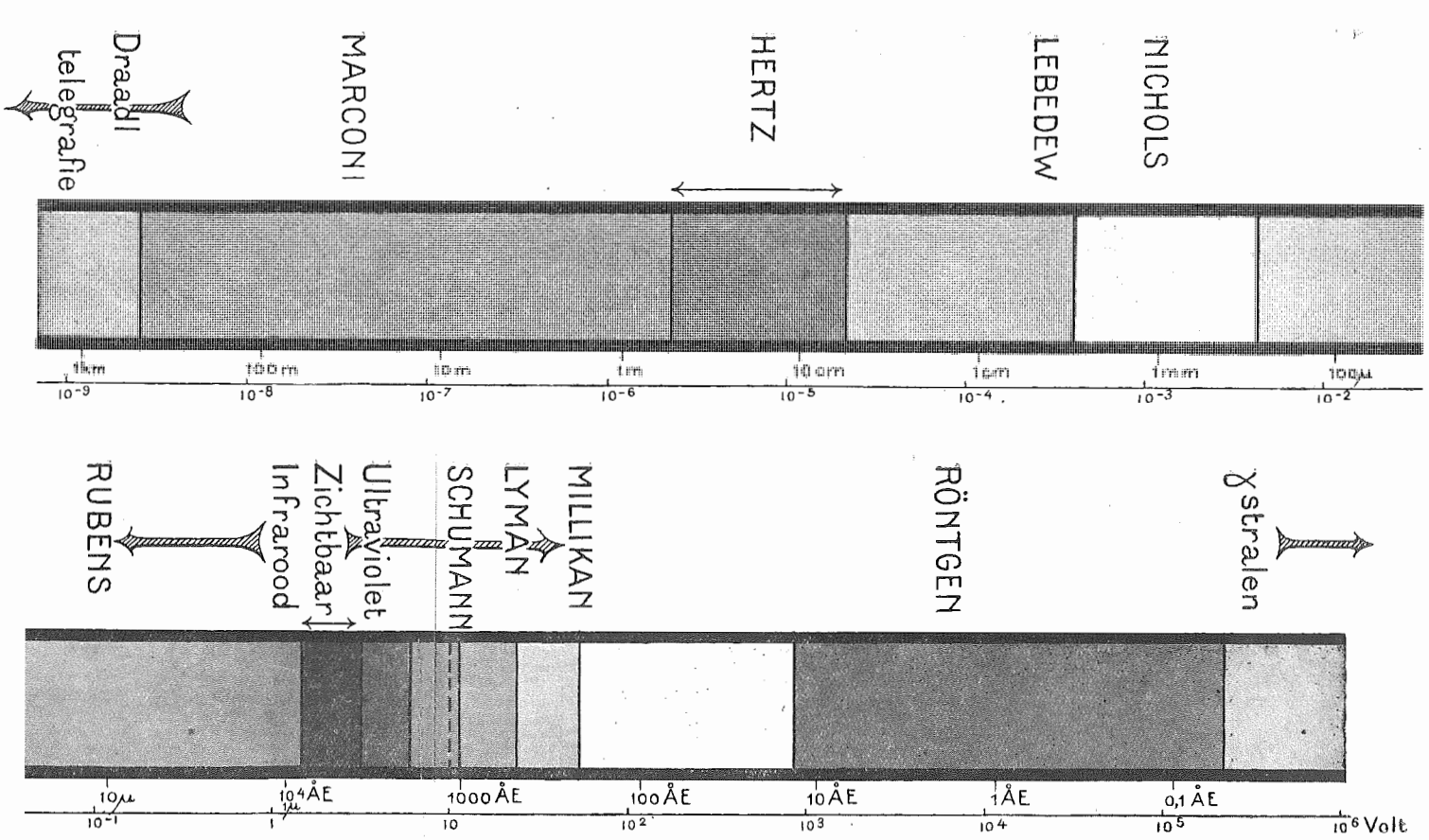


Fig. 7 Het geheele spectrum der electromagnetische stralen

waterstof, ofschoon de experimenteele moeilijkheden hier zoo groot zijn, dat zij voor dit gas nog niet uitgevoerd konden worden.[1]) Maar zoodra wij aan het eenvoudige voorbeeld van waterstof gezien hebben, waar het om gaat, zal het niet moeilijk zijn, dan ook het gedrag van de minder eenvoudige stoffen te begrijpen, waarmede de experimenten in werkelijkheid gedaan zijn en die *principieel* niets nieuws bieden.

Wij denken ons een vat met atomaire waterstof bij gewone temperatuur. Alle electronen loopen dan volgens de in de twee vorige hoofdstukken ontwikkelde voorstellingen op hun rustbanen, d.w.z. op de banen met het quantennummer één, waar zij de energie ε_1 (negatief!) hebben. Wij willen nu de atomen een heel bepaald energiebedrag aanbieden. Dat kunnen wij doen door het gas met electronen van bekende snelheid te beschieten. Wij beginnen met electronen van kleine snelheid en kijken, wat er gebeurt. De electronen botsen tegen de waterstofatomen, alsof deze elastische bollen waren en verlaten het gas met dezelfde energie, die zij bij het begin hadden. Dit gedrag toont ons, dat de waterstofatomen niet in staat zijn een willekeurig klein energiebedrag op te nemen.

Wij vergrooten nu de snelheid van de electronen en vinden dat deze plotseling, bij een bepaalde electronensnelheid, in het gas blijven steken. Hun energie is dan gelijk aan de arbeid $\varepsilon_2 - \varepsilon_1$, noodig, om het waterstofelectron van de eerste op de tweede stationnaire baan te brengen. Dit energiebedrag geven zij aan de waterstofatomen en houden zelf geen energie meer over, om verder te vliegen. Door de botsingen zijn nu in een aantal atomen de electronen op de

[1]) Zie echter de noot op blz. 27.

tweede baan getild (energie ε_2) en *Bohr* zegt, dat deze onder uitstraling van de lijn met de frequentie

$$\nu = \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}{h} = R\left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2}\right)$$

weer op hun rustbaan terugvallen moeten. Richten wij een spectroscoop op ons vat met waterstof, dan zien wij van het heele waterstofspectrum juist die eene lijn, die *Bohr* ons voorspelt.

Laten wij de snelheid van onze schietende electronen nog iets vergrooten, zoodat hun energie grooter is dan die, $(\varepsilon_2 - \varepsilon_1)$ noodig, om in een waterstofatoom het electron op de tweede baan te brengen, maar kleiner dan $\varepsilon_3 - \varepsilon_1$. Het waterstofatoom neemt dan alleen het bedrag $\varepsilon_2 - \varepsilon_1$ van het stootende electron aan en laat hem de rest. Er zullen dan weer electronen het gas verlaten, maar met een betrekkelijk kleine snelheid.

Overschrijdt de energie van de stootende electronen het bedrag $\varepsilon_3 - \varepsilon_1$ dan zullen in sommige waterstofatomen ook electronen op de derde quantenbaan getild worden. Zoodanige electronen kunnen dan op de eerste of tweede baan terugvallen en er komt in de spectroscoop behalve de twee eerste lijnen van de Lymanserie $\nu_{1,3} = \frac{\varepsilon_3 - \varepsilon_1}{h}$ en $\nu_{1,2} = \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}{h}$ ook de eerste lijn der Balmerserie $\nu_{2,3} = \frac{\varepsilon_3 - \varepsilon_2}{h}$ voor den dag.

Bij nog grootere electronensnelheden worden de waterstofelectronen ook op de 4de, 5de enz. baan gebracht, en er worden in de spectroscoop dus steeds meer lijnen van het waterstofspectrum gezien. Eindelijk zijn de geschoten electronen in staat het waterstofelectron heelemaal van zijn kern weg te schieten. Er worden dan positieve ionen gevormd, wat

daaraan te merken is, dat het gas de electriciteit geleidt. De energie, die de electronen moeten hebben om het gas te kunnen ioniseeren, heet de *ionisatie-energie* en komt overeen met de grens van de Lymanserie

$$\varepsilon_{ion} = -\varepsilon_1 = h\nu_{1,\infty}$$

Door het bovenbeschreven experiment, dat voor andere stoffen als waterstof ook werkelijk uitgevoerd werd, is nu aangetoond:

1) *dat het atoom alleen discrete energiebedragen kan opnemen, dat in het atoom dus een soort h-censuur moet werkzaam zijn.*

2) *dat het atoom de opgenomen energie als straling van de frequentie* $\nu = \frac{\Delta\varepsilon}{h}$ *weer afgeven kan.*

Omdat wij bij waterstof alle energietrappen a priori kunnen uitrekenen, zouden wij hier ook een bevestiging van de juistheid van het model krijgen. Maar zooals reeds opgemerkt is, zijn de experimenten niet met waterstof gedaan[1]) en bij alle andere stoffen is een directe berekening van de verschillende energieniveau's tot nu toe nog niet mogelijk geweest.

In verband met deze experimenten zijn eenige uitdrukkingen ontstaan, die licht tot verkeerde begrippen kunnen aanleiding geven en daarom nadere toelichting vereischen. Men spreekt namelijk van „een energie van 10 volt" of zelfs van

---

[1]) Sinds het bovenstaande geschreven werd, is het gelukt de experimenteele moeilijkheden bij waterstof te overwinnen. *P. S. Olmstead* en *K. T. Compton* (Phys. Rev. Dec. 1923) schoten de electronen in waterstof, die zich in een electrische oven bij een temperatuur van 2800° bevond en daardoor in atomen gedissocieerd was. Hun uitkomsten zijn in volle overeenstemming met wat wij volgens het bovenstaande moeten verwachten en geven dus een zoo direct mogelijke cotrôle van ons waterstofmodel.

„snelheden van 10 volt". Nu weet iedereen, dat een energie niet in volt uitgedrukt kan worden en nog veel minder een snelheid. Deze wijze van spreken vindt haar verklaring in de experimenteele methoden, die hier gebruikt worden. Men laat namelijk de electronen een potentiaalverschil V doorloopen, dat men in volt meet. Een electron heeft dan de energie eV verkregen. Aangezien nu de lading e van alle electronen dezelfde is, zegt men gemakshalve: Het electron heeft een energie of een snelheid van V volt. De snelheid v in behoorlijke maat uitgedrukt wordt natuurlijk gevonden uit

$$\frac{1}{2} m v^2 = eV$$

Met elk potentiaalverschil V komt op grond van de betrekking

$$h\nu = \Delta \varepsilon = eV$$

een frequentie ν overeen, zoodat ook wel trillingsgetallen of golflengten in volt uitgedrukt worden (vgl. de getallen bij fig. 7).

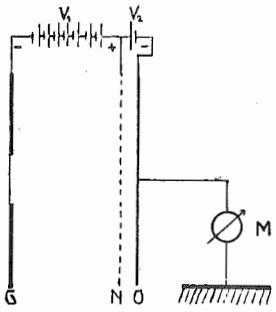


Fig. 8.

Men past bij deze onderzoekingen verschillende experimenteele methoden toe, al naar gelang van de bijzonderheden welke men wil leeren kennen. Een van de eenvoudigste is de volgende, volgens welke *J. Franck* en *G. Hertz* in 1913 dit belangrijke soort van experimenten voor het eerst uitvoerden (fig. 8).

Een gloeidraad G zendt de electronen uit, die door het potentiaalverschil V_1 dat tusschen G en het draadnet N ligt, versneld worden. Zij worden, na een zwak, constant tegenveld doorloopen te hebben, door de electrode O opgevangen. De galvanometer M meet den stroom, welke zij teweeg

brengen, als zij naar de aarde afgeleid worden. Het geheele toestel is met het te onderzoeken gas gevuld. De resultaten, welke *Franck* en *Hertz* bij kwikdamp verkregen, zijn uit fig. 9

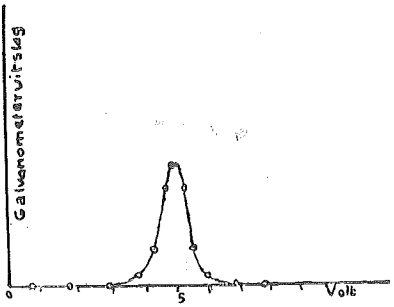


Fig. 9.

af te lezen. In het begin, toen de electronen een zoo geringe snelheid hadden, dat zij niet tegen het zwakke veld V_2 opkonden, gaf de galvanometer geen uitslag. Wordt het potentiaalverschil V_1 en daarmede de electronensnelheid vergroot, dan toont de galvanometer, dat een steeds grooter aantal electronen de electrode O bereikt. Maar bij een electronenenergie van ongeveer 4,9 volt neemt de galvanometeruitslag plotseling af. Er bereiken geen electronen de opvangelectrode O meer. Hun energie is door de kwikatomen gebruikt, om in een hoogere quantentoestand te geraken. De spectroscoop toont dan, dat van het honderden lijnen bevattende spectrum van kwik alleen die eene lijn uitgezonden wordt, waarvan de frequentie ν gegeven is door

$$h\nu = e.4{,}9$$

Op historische gronden heet het potentiaalverschil, dat een electron moet doorloopen, om een atoom uit den rusttoestand in den tweeden quantentoestand te kunnen brengen, de *resonnantiepotentiaal.* Als $\nu_{1,2}$ weer de frequentie is van die lijn

(de *resonnantielijn*), die uitgestraald wordt bij een overgang uit den toestand twee in den toestand een, dan geldt dus

$$eV_{res} = h\nu_{1,2}$$

Analoog geldt voor de *ionisatiepotentiaal*

$$eV_{ion} = h\nu_{1,\infty}$$

Fig. 10 geeft een voorstelling van de resultaten, die *Franck*

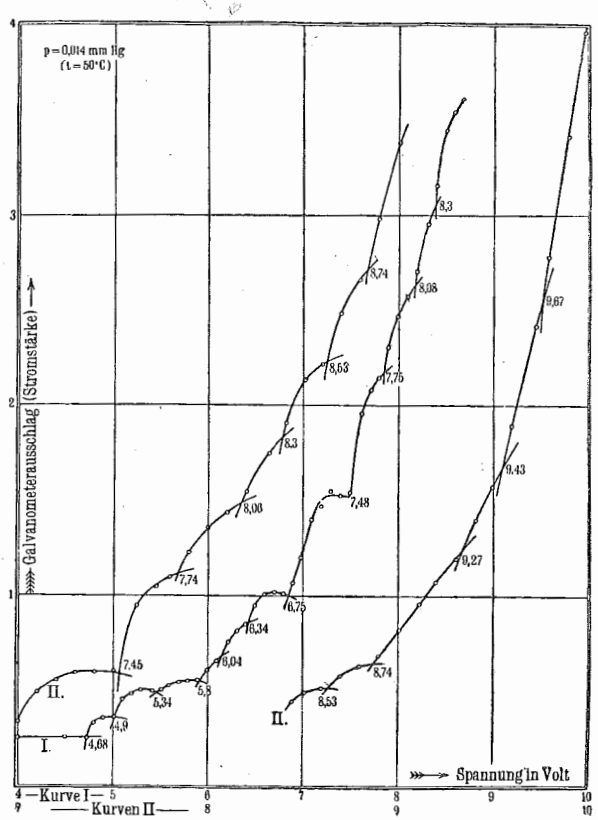


Fig. 10.

en *Einsporn* bij een nauwkeuriger onderzoek van kwikdamp volgens een iets gewijzigde methode bereikten. Elke knik in de kromme is de aanwijzing voor het optreden van een nieuwen quantentoestand en het uitgezonden worden van nieuwe spectraallijnen.

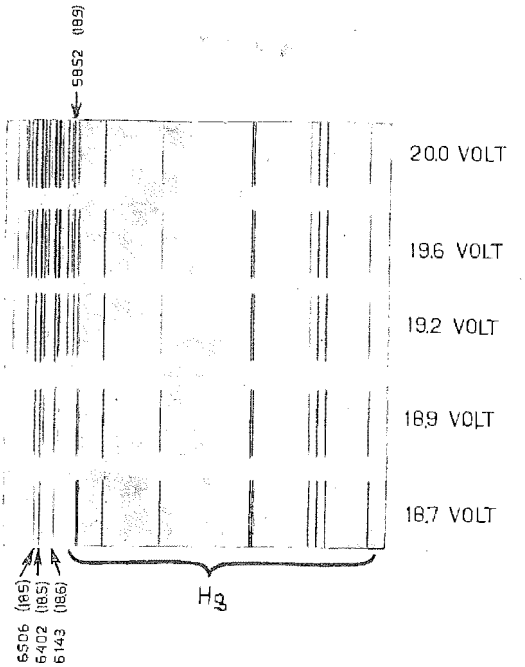


Fig. 11.

Een mooie illustratie van het achter elkaar voor den dag komen van de spectraallijnen, als de snelheid der geschoten electronen vergroot wordt, geeft fig. 11, welke *Dr. G. Hertz*

zoo vriendelijk was ter reproductie af te staan. Rechts zijn de energieën van de stotende electronen opgegeven. Bij 18,7 volt zijn slechts een paar zwakke lijnen van het *neon*spectrum te zien. (De overige lijnen zijn van bijmengingen van kwik afkomstig.) Bij de hoogere spanningen treden hoe langer hoe meer lijnen op en wel in de volgorde, die volgens de theorie van *Bohr* te verwachten is.

Bij waterstof konden wij ook nog het energieverschil, dat bij elke spectraallijn behoort, uit het model uitrekenen. Daar is b.v. bij een kwikatoom niet aan te denken, omdat het een veel te gecompliceerden bouw heeft. In het laatste hoofdstuk zullen enkele bijzonderheden over den bouw van hoogere atomen besproken worden. Hier zij alleen het volgende in eenigszins dogmatischen vorm medegedeeld.

Iedereen weet, dat de elementen sinds *Lothar Meyer* en *D. Mendelejeff* (1869), in het z.g. *periodiek systeem* gerangschikt worden, ongeveer volgens hun atoomgewichten. *Bohr* heeft, gebruik makende van al wat anderen voor hem gevonden hebben, dien vorm aan het periodiek systeem gegeven, die in fig. 15 op blz. 52 gereproduceerd is, en waarin de onderlinge samenhang der elementen bijzonder duidelijk te zien is. De Nederlandsche jurist *Van den Broek* heeft voor het eerst uitgesproken, dat het *plaatsnummer* Z, hetwelk een element in het periodieke systeem heeft, een eenvoudige physische beteekenis bezit. Het plaatsnummer Z geeft n.l. het aantal positieve ladingen van de kern aan. De kernlading is dus

$$E = + Ze$$

Aangezien het atoom in zijn geheel electrisch neutraal is, moeten Z negatieve electronen aanwezig zijn. Deze Z elec-

tronen loopen op zeer gecompliceerde banen om de kern heen. Reeds in de eenvoudige gevallen, waar slechts twee of drie electronen aanwezig zijn, worden de wiskundige moeilijkheden zoo groot, dat aan een uitrekenen der banen en energietoestanden niet te denken valt. Maar er moeten volgens *Bohr's* opvattingen ook hier discrete energietoestanden zijn, die ons door de proeven van *Franck* en *Hertz* direct experimenteel aangetoond worden. Met elk energieverschil, dat wij op deze wijze vinden, moet een spectraallijn overeenkomen, waarvan de frequentie bepaald wordt door het energieverschil door h te deelen. Bij alle proeven is deze overeenkomst mooi bevestigd, zoodat wij niet meer behoeven te betwijfelen, dat *Bohr's* grondaannamen ook voor meer gecompliceerde atomen juist zijn.

Maar de proeven van *Franck* en *Hertz* leeren ons nog meer. Bij waterstof konden wij uit het eenvoudige model het heele spectrum berekenen. Omdat dit bij de andere elementen onmogelijk is, probeert men omgekeerd, uit het spectrum iets over de electronenconfiguratie te weten te komen. Men moet dan in de eerste plaats weten, bij welke twee toestanden van het atoom een bepaalde spectraallijn behoort. In een gecompliceerd spectrum is dat verre van eenvoudig, en er zijn spectra genoeg, waar men nog absoluut geen raad mee weet. Door de atomen naar de methode van *Franck* en *Hertz* te onderzoeken, heeft men een goed hulpmiddel, om het spectrum te ontwarren en er conclusies aangaande den bouw der atomen uit te trekken.

Bij vele atomen liggen de voor het onderzoek van de constitutie van het atoom belangrijkste spectraallijnen ver in het ultraviolet, waar men, zooals reeds meermalen is opgemerkt, met groote experimenteele moeilijkheden te kampen heeft,

Maar zoodanige lijnen kunnen vaak, zij het dan ook met een kleinere nauwkeurigheid, door de zooeven beschreven proeven aangetoond worden. Men heeft dan, omdat de optische metingen in een onbereikbaar gebied hadden moeten gebeuren, optische eigenschappen van het atoom onderzocht door electrische metingen.

Omgekeerd wil men vaak iets over de *electrische eigenschappen* van een element weten. (Men denke aan de gloeilampenfabricatie). De $h\nu$-relatie in den vorm

$$h\nu = e\,V$$

veroorlooft ons dan in vele gevallen de tamelijk omslachtige en onnauwkeurige electrische onderzoekingen te vervangen door eenvoudige en uiterst nauwkeurige spectroscopische metingen. Het is een der grootste triomfen van de denkbeelden van *Einstein—Bohr*, een nauw verband gelegd te hebben tusschen deze twee empirische gebieden, die tot nu toe heel los aan elkaar hingen.

In de tabel 1 zijn de ionisatie- en resonnantie-potentialen van een reeks van elementen opgegeven.

De opgegeven getallen zijn, behalve bij de edelgassen, waar de spectra nog onvoldoende bekend zijn, volgens de vergelijking $h\nu = e\,V$ uit het spectrum berekend. De uit de in dit hoofdstuk beschreven proeven verkregen waarden vallen er binnen de foutengrenzen mee samen. De met een * gekenmerkte getallen konden nog niet door de directe proeven geverifieerd worden.

Tabel 1.

	V_{res}	V_{ion}		V_{res}	V_{ion}
1 H	10,17	13,53	30 Zn	4,01	9,35
3 Li	* 1,84	* 5,37	48 Cd	3,78	8,96
11 Na	2,10	5,12	80 Hg	4,87	10,39
19 K	1,61	4,32			
37 Rb	1,58	4,16	13 Al	* 3,13	* 5,96
55 Cs	1,45	3,88	31 Ga	* 3,06	* 5,97
			43 In	* 3,01	* 5,76
29 Cu	* 3,80	* 7,69	81 Tl	3,27	6,08
47 Ag	* 3,76	* 7,54			
79 Au	* 4,62	* 92.0	2 He	19,75	24,6
			10 Ne	16,65	21,5
12 Mg	2,70	7,61	18 A	11,55	15,3
20 Ca	1,88	6,09	36 Kr	8,4	12—13
38 Sr	* 1,79	* 5,67	54 X	8,0	11—12
56 Ba	* 1,56	* 5,19			

IV. OPTISCHE- EN RÖNTGENSPECTRA.

Zooals reeds vroeger opgemerkt is, geeft het rangnummer van een element in het periodiek systeem het aantal positieve ladingen van de atoomkern aan en dus ook het aantal electronen, die zij noodig heeft, om een neutraal atoom te vormen. *Helium,* het tweede element in het periodiek systeem, moet dus na waterstof het eenvoudigste atoom hebben. Als we het spectrum, enz. van helium wilden uitrekenen, moesten wij de banen onderzoeken, die de twee electronen onder de aantrekking van de dubbelgeladen kern zullen gaan

beschrijven. De electronen werken ook onderling op elkaar, en wij hebben daarom hier te doen met het drielichamenprobleem. De oplossing van dit probleem is tot nu toe, ofschoon de beste wiskundigen der laatste 200 jaren er zich mee bezig gehouden hebben, alleen voor heel speciale gevallen mogelijk geweest. Bij helium is het geval veel ongunstiger dan in de astronomie, waar de storingen, die de planeten op elkaar uitoefenen, zeer klein zijn t.o.v. de aantrekkende kracht van de zon. Alle pogingen, de beweging der electronen in het heliumatoom uit te rekenen, zijn zonder succes geweest. [1])

Maar zoodra het ons zal lukken, één electron van het heliumatoom weg te schieten, verdwijnen alle wiskundige moeilijkheden, en wij hebben dan weer het eenvoudige geval van een kern met één electron en kunnen de in hoofdstuk I verkregen formules der Keplerbeweging er op toepassen. De kern heeft hier echter de lading twee $(E = 2\,e)$ wat ten gevolge heeft, dat het electron met een tweemaal zoo groote kracht wordt aangetrokken als bij waterstof.

Uit de formules (7) en (8) van blz. 9 blijkt, dat de straal van de baan is

$$r = \tfrac{1}{2}\, a\, \tau^2$$

en de energie

$$\varepsilon_\tau = -\frac{4\,B}{\tau^2}$$

waarin $a = \dfrac{h^2}{4\pi^2 me^2}$ de straal van de eerste waterstofbaan

[1]) De oorzaak dier mislukkingen zit waarschijnlijk dieper. Er zijn aanwijzingen voor, dat in stelsels met meerdere electronen de wetten der gewone mechanica niet meer geldig zijn.

en $-B = -\frac{2\pi^2 m e^4}{h^2}$ de energie van het electron op die baan is. De afmetingen zijn dus door de dubbel zoo groote aantrekkingskracht samengetrokken, zoodat bij geïoniseerd helium de straal de helft is van die van de overeenkomstige baan bij waterstof, terwijl het electron op een zoodanige baan een viermaal zoo groote energie heeft als op een waterstofbaan met hetzelfde quantengetal. Springt het electron nu van de τ'de op de τ''de baan, dan wordt een spectraallijn uitgezonden met de frequentie

$$\nu = \frac{\varepsilon' - \varepsilon''}{h} = 4R\left(\frac{1}{\tau''^2} - \frac{1}{\tau'^2}\right) \tag{14}$$

Hierin beteekent R weer de constante van *Rydberg*, dezelfde constante, die ook bij het waterstofspectrum optreedt. Vergelijken wij deze uitkomst met het spectrum van waterstof, dat door (10) blz. 17 gegeven is, dan zien wij dadelijk, dat het spectrum van geïoniseerd helium denzelfden bouw moet hebben als dat van waterstof. Alleen zijn hier alle trillingsgetallen vier maal zoo groot. Als wij dus het waterstofspectrum twee octaven naar violet verschuiven, moeten wij het spectrum van geïoniseerd helium verkrijgen.

Hoe klopt dat nu met de waarnemingen? Behalve de reeds beschouwde drie series in het waterstofspectrum, kende men nog twee series, waarvan men dacht, dat zij ook van waterstof afkomstig waren, Zij werden voorgesteld door de volgende formules.

$$\nu = R\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{(k + {}^1/_2)^2}\right) \quad (k = 2, 3, 4 \ldots) \tag{15}$$

en

$$\nu = R\left(\frac{1}{1{,}5^2} - \frac{1}{k^2}\right) \qquad (k = 2, 3, 4 \ldots) \tag{16}$$

De tweede serie werd in 1912 door *Fowler* gevonden.

In 1913 lukte het *Fowler* ook, de eerste serie, die door *Pickering* in het spectrum van nevelsterren ontdekt was en daarom *Pickeringserie* heet, in het laboratorium waar te nemen. Men dacht, dat deze series van waterstof afkomstig waren, omdat zij door een zoo eenvoudige formule voorgesteld kunnen worden, terwijl de spectra van alle andere elementen een veel ingewikkelder bouw vertoonen. De lijnen traden alleen op, wanneer de waterstof met een weinig helium verontreinigd was. Dat is op zich zelf niet vreemd, omdat vaak het spectrum van een element door toevoeging van een ander gas veel beter te voorschijn komt.

Maar schrijft men de twee series door teller en noemer met 4 te vermenigvuldigen

(15[1]) $$\nu = 4\,R\left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{(2k+1)^2}\right)$$

en

(16[1]) $$\nu = 4\,R\left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{(2k)^2}\right)$$

dan ziet men, dat zij identiek zijn met de lijnen, die *Bohr* voor geïoniseerd helium verwachtte.

Een derde serie, de naar het ultraviolet getransponeerde Balmerserie

$$\nu = 4\,R\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2}\right)$$

werd in 1919 door *Lyman* ontdekt.

Spoedig nadat *Bohr* deze series aan geïoniseerd helium toegeschreven had, gelukte het, de lijnen ook in zuiver helium waar te nemen, waardoor *Bohr's* opvatting als de juiste erkend werd.

Maar er deed zich hier nog een andere quaestie voor, waardoor *Bohr* kon aantoonen, dat zijn theorie in staat was, van alle bijzonderheden rekenschap te geven. De empirische

formule (15) of (15') voor de Pickeringserie geeft maar de helft van de lijnen, die theoretisch te verwachten waren, n.l. alleen die, waarvoor n in de formule $4R\left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{n^2}\right)$ oneven is. De lijnen met een even n moeten samenvallen met de lijnen van de Balmerserie $\nu = R\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{m^2}\right)$, die ook geschreven kan worden $\nu = 4R\left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{(2m)^2}\right)$. Men vond echter, dat de He^+-lijnen niet precies met de Balmerlijnen samenvallen, doch iets naar den violetten kant verschoven waren, en men gebruikte deze omstandigheid als argument tegen *Bohr's* opvattingen.

Dadelijk echter toonde *Bohr* aan, dat dit ook volgens zijn theorie zoo zijn moet. Toen wij de formules voor de Keplerbeweging afleidden, hebben wij aangenomen, dat de kern stilstaat. Dat geeft een goede benadering, omdat haar massa zeer groot is in vergelijking met die van het electron. Maar in werkelijkheid bewegen zich electron en kern om hun gemeenschappelijk zwaartepunt. Houdt men hiermede rekening, dan blijven alle formules gelden met iets gewijzigde constanten. De spectraalformule wordt dientengevolge precies zooals bij de vaststaande kern

$$\nu = Z^2 R' \left(\frac{1}{\tau''^2} - \frac{1}{\tau'^2}\right) \tag{17}$$

Alleen de Rydbergconstante is daarbij iets veranderd en wel zoo, dat

$$R' = \frac{R}{1 + \frac{m}{M}} \tag{18}$$

Hierin is R de waarde, die wij vroeger bij een vaststaande

kern gevonden hebben en $\frac{m}{M}$ de verhouding van de massa van het electron tot die van de kern. Aangezien nu de kern van helium viermaal zoo zwaar is als die van waterstof wordt R' bij helium iets grooter, zoodat alle lijnen een weinig naar den violetten kant verschoven zijn en juist het bedrag, dat experimenteel waargenomen is. Om een idee te geven van de buitengewone nauwkeurigheid, die bij deze spectroscopische metingen bereikt wordt, mogen hier de door *Paschen* bepaalde waarden R' voor waterstof en helium aangegeven worden

$$R'_H = \frac{R}{1+\frac{m}{M_H}} = 109\,677,\,691 \pm 0{,}06$$

$$R'_{He} = \frac{R}{1+\frac{m}{M_{He}}} = 109\,722,\,144 \pm 0{,}04$$

Hieruit laat zich de verhouding $\frac{M_H}{m}$ van de massa's van het waterstofatoom en het electron berekenen aangezien de verhouding $\frac{M_{He}}{M_H}$ bekend is (chemische atoomgewichten). Men vindt

$$\frac{M_H}{m} = 1847$$

Deze uit zuivere spectroscopische metingen bepaalde waarde is waarschijnlijk de nauwkeurigste, die op het oogenblik bereikt kan worden. Zij sluit goed bij de volgens andere methoden verkregen waarden aan.

Lithium, het volgende element in het periodiek systeem, heeft drie electronen. Als het ons lukken zou, twee ervan weg te nemen, dan zouden wij dubbel geïoniseerd lithium

(Li^{++}) hebben, dat weer dezelfde eenvoudige structuur moet bezitten als waterstof. Maar aangezien de kernlading hier drie is, dus $E = 3e$, moet Li^{++} een spectrum bezitten, dat men uit het waterstofspectrum verkrijgt door alle frequenties met negen te vermenigvuldigen. Dat maakt, dat de lijnen zeer ver in het ultraviolet liggen. Het is tot nu toe nog niet gelukt, dit spectrum experimenteel te realiseeren.

Wij hebben gezien, dat het spectrum van geïoniseerd helium niets anders is als het twee octaven naar het violet verschoven waterstofspectrum. Als wij nu twee andere in het periodiek systeem op elkaar volgende elementen beschouwen b.v. Na ($Z = 11$) en Mg ($Z = 12$), dan heeft een geïoniseerd magnesiumatoom (dus een magnesiumatoom waarvan één electron verwijderd is) dezelfde electronenconfiguratie als het neutrale natriumatoom. Het buitenste electron, dat voor het uitzenden van het spectrum aansprakelijk is, heeft bij Mg^{+} onder den invloed van de grootere kernlading een ongeveer viermaal zoo groote energie als bij Na. Ook hier moet dus het spectrum van het geïoniseerde atoom denzelfden bouw vertoonen, als het spectrum van het neutrale atoom van het in het periodiek systeem voorafgaande element. Alleen zijn alle lijnen ongeveer twee octaven naar het ultraviolet verschoven. Dat is een algemeene regel (*spectroscopische verschuivingswet*), die in het heele periodiek systeem geldt en voor tal van elementen al experimenteel bevestigd is. Wij kunnen nog verder gaan en behalve het spectrum van Mg^{+} ook nog die van Al^{++} ($Z = 13$) en Si^{+++} ($Z = 14$) beschouwen. De onderzoekingen van *Paschen* en *Fowler* hebben aangetoond, dat zij in alle details op het spectrum van neutraal natrium gelijken, zooals wij volgens de theorie van *Bohr* moeten verwachten. Men moet de trillingsgetallen van een

natriumlijn met ongeveer vier, negen of zestien vermenigvuldigen, om de overeenkomstige lijn in het spectrum van Mg^{+}, Al^{++} of Si^{+++} te verkrijgen.

Bij de hoogere elementen gelukt het niet, alle atomen op één na weg te nemen, zoodat wij een „*waterstofachtig*" atoom zouden verkrijgen. Maar laten wij eens aannemen, dat wij er wel toe in staat waren en kijken, welke conclusies wij er uit kunnen trekken. Bij een stof met het rangnummer Z, waarvan de kern dus de positieve lading eZ heeft, behoeven wij deze waarde alleen voor E in de formules (7) en (8) (blz. 8) in te vullen, om de straal der baan en de energie van het eene overgebleven electron te verkrijgen. Wij vinden

$$r = \frac{a}{Z} \cdot \tau^2$$

en

$$\varepsilon = -B Z^2 \cdot \frac{1}{\tau^2}$$

Wij kijken alleen naar de lijn, welke bij den overgang van de tweede op de eerste stationnaire baan uitgezonden wordt. Zij heeft de frequentie

$$\nu = R Z^2 \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2}\right)$$

Vatten wij $\left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2}\right) R$ samen tot de voor alle elementen gemeenschappelijke constante G, dan is dus de frequentie van de beschouwde lijn in afhankelijkheid van het atoomnummer

$$\nu = G Z^2$$

Zij ligt bij waterstof al in het ultraviolet en verschuift met groeiende kernlading hoe langer hoe meer naar kortere golflengten. Zij komt dan al zeer spoedig in het gebied der

Röntgenstralen. Bij hoogere elementen moet dus dezelfde sprong, die bij waterstof gewoon ultraviolet licht geeft, Röntgenstralen leveren. Konden wij het experiment werkelijk uitvoeren, dan hadden wij tegelijk een middel, om de kernlading Z van het element, waarmede wij mee bezig zijn, direct experimenteel te bepalen. Als wij $\sqrt{\nu}$ als functie van de kernlading Z grafisch voorstellen, moeten wij de rechte lijn

(19) $$\sqrt{\nu} = \sqrt{G}\ Z$$

krijgen. (fig. 12)

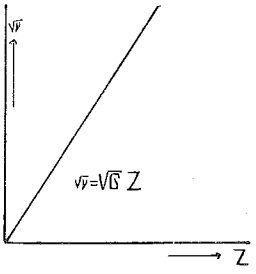


Fig. 12.

Het beschouwde experiment is weliswaar utopisch, maar wij hebben erdoor leeren begrijpen, hoe het mogelijk is, dat dezelfde electronensprong, die bij waterstof gewoon ultraviolet licht oplevert, bij de hoogere elementen Röntgenstralen geeft en hoe de aangroeïng van de frequentie van eenzelfde lijn met het rangnummer samenhangt.

Uit de interpretatie der *Röntgenspectra* heeft men geleerd, dat de electronen van een atoom gerangschikt zijn in bepaalde groepen. Men kan zich het eenvoudigst voorstellen, dat alle electronen van een groep op eenzelfde bolschil loopen. Latere onderzoekingen hebben aangetoond, dat het er niet zoo eenvoudig uitziet, maar voor onze redeneering doet dat niets ter zake. De binnenste schil heet de *K*-schil. Dan volgen naar buiten de *L*-, *M*-, *N*- enz.-schillen. Het spreekt vanzelf, dat bij een element met weinig electronen niet alle schillen met electronen bezet kunnen zijn. De allerbinnenste electronen, dus die op de *K*-schil, merken niet veel van den invloed der buitenste electronen en voelen er niets van, als er aan de peripherie van het atoom nog een paar electronen

bij komen. Zij staan in hoofdzaak onder den invloed der sterke kernlading, en de overige electronen zullen deze alleen een beetje verzwakken. Bij het bombardement met electronen van zeer groote snelheid, zooals dat in een Röntgenbuis gebeurt, wordt een K-electron uit zijn baan gestooten en zendt bij het terugvallen een scherpe Röntgenlijn uit. Wij verwachten nu, in analogie met ons utopisch experiment, dat de energie ε van de grondbaan van die lijn met het rangnummer van het atoom op de volgende wijze samenhangt.

$$\varepsilon = -K\,(Z-a)^2 \tag{20}$$

waarin K een niet van het element afhangende constante is en a de verzwakking der kernlading door de overige electronen tot uitdrukking brengt. *Moseley* heeft deze relatie al in 1913 experimenteel ontdekt en was dus in staat de kernlading van ieder element precies te bepalen.

Voor de electronen op de volgende, de L-schil is de invloed van de overige electronen al grooter, vooral ook, omdat de K-electronen een gedeelte van de kernlading afschermen. Wij verwachten dus, dat er een soortgelijke formule voor het verband tusschen rangnummer Z en energie ε bestaat als bij de K-electronen, maar dat de constante, die van Z moet worden afgetrokken, grooter zal zijn. Verder moeten wij verwachten, dat de L-electronen zich al meer van het onregelmatige gedrag der buitenste electronen zullen aantrekken, dan de veel dichter bij de kern vertoevende electronen op de K-schil. De relatie (20) zal dus hier veel minder streng geldig zijn.

In fig. 13 is de wortel uit de energie van de electronen in de verschillende groepen, zooals deze experimenteel uit de

Röntgenspectra bepaald is, als functie van het atoomnummer grafisch voorgesteld. [1])

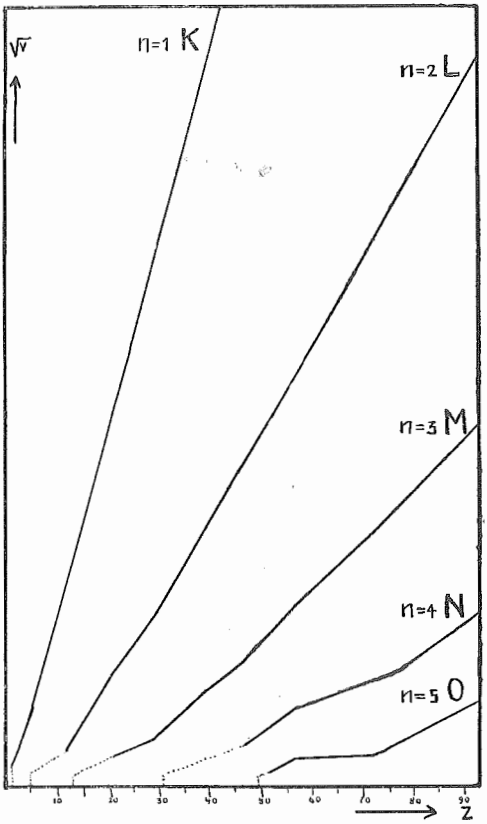


Fig. 13.

Bij de *K*-groep krijgen wij met groote scherpte een rechte

[1]) Fig. 13 en de tabel 2 op blz. 49 zijn aan een verhandeling van *Bohr* en *Coster* ontleend. De figuur is voor ons doel sterk vereenvoudigd. In werkelijkheid zijn er *3 L*-niveau's, *5 M*-niveau's enz., die nog niet allen volledig konden worden verklaard.

lijn terwijl bij de *L*-groep al eenige knikken te zien zijn, die op een beïnvloeding door de verder buiten loopende electronen wijzen. Nog meer is deze invloed der peripherie bij de volgende groepen te voelen, wat zich in de figuur in sterkere afwijkingen van een rechte lijn uit. Op die knikken zullen wij in het volgend hoofdstuk nog gelegenheid hebben terug te komen en hun beteekenis voor den bouw van het atoom leeren kennen.

V. HET PERIODIEK SYSTEEM.

In het vorige hoofdstuk hebben wij gezien, dat de eigenschappen, welke met het binnenste van het atoom samenhangen, en die wij met behulp van Röntgenstralen bestudeeren een *monotoon* gedrag vertoonen, als wij de rij der elementen in de volgorde van hun plaatsnummer in het periodiek systeem beschouwen. Zoodra één van de beschouwde groepen compleet is, d.w.z. met zooveel electronen bezet is, als zij kan opnemen, blijft zij bij alle verdere elementen in gedaante onveranderd. Zij wordt alleen door de grootere kernlading meer en meer samengetrokken en de Röntgenstralen, die van deze groep uitgaan, worden daardoor steeds harder.

Iets anders merken wij bij de *optische* en *chemische eigenschappen* op. Deze hebben te maken met de buitenste electronen aan de peripherie van het atoom. Uit het feit, dat dezelfde optische en chemische eigenschappen in elke verticale kolom van het periodiek systeem terugkomen, kunnen

wij dus besluiten, dat ook ongeveer dezelfde electronenconfiguratie aan de peripherie periodiek moet terugkeeren.

Niet zoo eenvoudig is te zeggen, hoe zich de tusschenliggende electronen moeten gedragen. Zij zullen wel een monotoon gedrag vertoonen met periodieke afwijkingen. Juist door het bestudeeren van de zachte Röntgenstralen, die van deze electronen afkomstig zijn, heeft men bijzonder mooie ophelderingen kunnen verkrijgen over het meer en meer gecompliceerd worden van de electronenconfiguratie bij de elementen met hoog atoomgewicht.

Met inachtneming van al deze en nog meer experimenteele gegevens over de eigenschappen der atomen, die men in den laatsten tijd heeft kunnen verzamelen, is het *Bohr* gelukt, den bouw der atomen met grootere kernlading tenminste in hoofdtrekken aan te geven. Dat van een directe berekening der electronenbanen, zooals bij waterstof en geïoniseerd helium, geen sprake kan zijn, hebben wij al vroeger begrepen. *Bohr* gaat nu op de volgende manier te werk: Als wij willen zien hoe b.v. een goudatoom opgebouwd is, nemen wij een kern met 79 positieve ladingen en laten er eerst één electron op afvliegen. Dat zal dan op de een of andere stationnaire baan terecht komen en tenslotte op een eenquants-(rust-)baan onder uitzending van (Röntgen-)straling overgaan. Dan laten wij een tweede, enz. electron hetzelfde herhalen, totdat de kern 79 electronen gevangen heeft en wij een neutraal goudatoom voor ons hebben. De achtereenvolgende electronen komen tenslotte natuurlijk alle op verschillende banen terecht. Maar als wij vragen, welke dat zijn, dan moeten wij er weer het antwoord op schuldig blijven, omdat wij ter bepaling der banen eerst het veellichamenprobleem moesten oplossen. Wij schijnen dus nog even ver te zijn als vroeger en het

heele geval schijnt hopeloos. Maar nu komt *Bohr* en verbindt zijn algemeene ideeën over den atomenbouw met de empirische gegevens en komt zoo tot een mooi beeld van het periodiek systeem. Wij kunnen hier niet in alle onderdeelen de redeneeringen van *Bohr* volgen, maar zullen alleen mededeelen tot welke resultaten hij is gekomen. De uitkomsten lijken dan soms min of meer willekeurig. Maar zij zijn aan alle kanten door experimenten gesteund en, wat bijzonder mooi is, over de juistheid of onjuistheid van vele dingen, die nog twijfelachtig zijn, kan door het experiment beslist worden.

De tabel op blz. 49 geeft een overzicht, hoe de electronen over de verschillende baantypen verdeeld zijn. Om de in den eersten regel staande symbolen, de nummers der baantypen, toe te lichten, moeten wij nog eens tot het waterstofatoom terugkeeren. Wij hebben tot nu toe altijd aangenomen, dat het electron op cirkels om de kern heen loopt. Maar wij weten, dat de planeten zich in *ellipsen* om de zon bewegen en hetzelfde geldt ook voor het electron t.o.v. de kern. Maar ook bij de elliptische beweging zijn niet alle volgens de klassieke mechanica geoorloofde bewegingen mogelijk, maar alleen diegene, welke door de h-censuur toegelaten zijn. De theorie van de h-censuur voor elliptische bewegingen, die voor het eerst door *Sommerfeld* is opgesteld, leert, dat voor de bepaling van de stationnaire banen hier twee quantengetallen noodig zijn. De voerstraal van de kern naar het electron draait rond en verkort en verlengt zich daarbij voortdurend. Het oppervlak, dat door de voerstraal per tijdseenheid bestreken wordt is evenredig met het *azimuthale quantengetal* k, terwijl de beweging, die door het korter en langer worden van de voerstraal ontstaat, door het tweede quantengetal ϱ

Tabel 2.

Z		K	L		M			N				O					P						Q	
	n_k	1	2	2	3	3	3	4	4	4	4	5	5	5	5	5	6	6	6	6	6	6	7	7
		1	1	2	1	2	3	1	2	3	4	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	1	2
1	H	1																						
2	He	2																						
3	Li	2	1																					
4	Be	2	2																					
5	B	2	2	(1)																				
—	—	—	—	—																				
10	Ne	2	4	4																				
11	Na	2	4	4	1																			
12	Mg	2	4	4	2																			
13	Al	2	4	4	2	1																		
—	—	—	—	—	—	—																		
18	A	2	4	4	4	4																		
19	K	2	4	4	4	4		1																
20	Ca	2	4	4	4	4		2																
21	Sc	2	4	4	4	4	1	(2																
22	Ti	2	4	4	4	4	2	(2)																
—	—	—	—	—	—	—	—	—																
29	Cu	2	4	4	6	6	6	1																
30	Zn	2	4	4	6	6	6	2																
31	Ga	2	4	4	6	6	6	2	1															
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—															
36	Kr	2	4	4	6	6	6	4	4															
37	Rb	2	4	4	6	6	6	4	4			1												
38	Sr	2	4	4	6	6	6	4	4			2												
39	Y	2	4	4	6	6	6	4	4	1		(2)												
40	Zr	2	4	4	6	6	6	4	4	2		(2)												
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		—												
47	Ag	2	4	4	6	6	6	6	6	6		1												
48	Cd	2	4	4	6	6	6	6	6	6		2												
49	In	2	4	4	6	6	6	6	6	6		2	1											
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		—	—											
54	X	2	4	4	6	6	6	6	6	6		4	4											
55	Cs	2	4	4	6	6	6	6	6	6		4	4				1							
56	Ba	2	4	4	6	6	6	6	6	6		4	4				2							
57	La	2	4	4	6	6	6	6	6	6		4	4	1			(2)							
58	Ce	2	4	4	6	6	6	6	6	6	1	4	4	1			(2)							
59	Pr	2	4	4	6	6	6	6	6	6	2	4	4	1			(2)							
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			—							
71	Cp	2	4	4	6	6	6	8	8	8	8	4	4	1			(2)							
72	Hf	2	4	4	6	6	6	8	8	8	8	4	4	2			(2)							
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			—							
79	Au	2	4	4	6	6	6	8	8	8	8	6	6	6			1							
80	Hg	2	4	4	6	6	6	8	8	8	8	6	6	6			2							
81	Tl	2	4	4	6	6	6	8	8	8	8	6	6	6			2	1						
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			—	—						
86	Em	2	4	4	6	6	6	8	8	8	8	6	6	6			4	4						
87	—	2	4	4	6	6	6	8	8	8	8	6	6	6			4	4					1	
88	Ra	2	4	4	6	6	6	8	8	8	8	6	6	9			4	4					2	
89	Ac	2	4	4	6	6	6	8	8	8	8	6	6	6			4	4	1				(2)	
90	Th	2	4	4	6	6	6	8	8	8	8	6	6	6			4	4	2				(2)	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			—	—	—				—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		—	—	—				—	—
118	?	2	4	4	6	6	6	8	8	8	8	8	8	8	8	—	6	6	6				4	4

geregeld wordt. Als er geen radiale beweging is, dus de voerstraal constant blijft, d.w.z. het electron op een cirkel loopt, is ϱ gelijk aan nul. Verder op deze dingen in te gaan, is zonder de wiskundige formuleering niet goed mogelijk. Wij moeten alleen onthouden, dat elke geoorloofde baan door twee getallen k en ϱ gekarakteriseerd is. In plaats van k en ϱ kunnen wij natuurlijk evengoed $n = k + \varrho$ en k gebruiken, en *Bohr* noemt een baan, die door deze twee getallen gekenmerkt is, een n_k baan. De banen, waarbij $n = k$ dus $\varrho = n - k = 0$, zijn dus cirkels. Hoe meer n en k verschillen des te grooter is de excentriciteit van de ellips. Fig. 14 geeft een voorstelling hoe de geoorloofde bewegingen er dan uitzien.

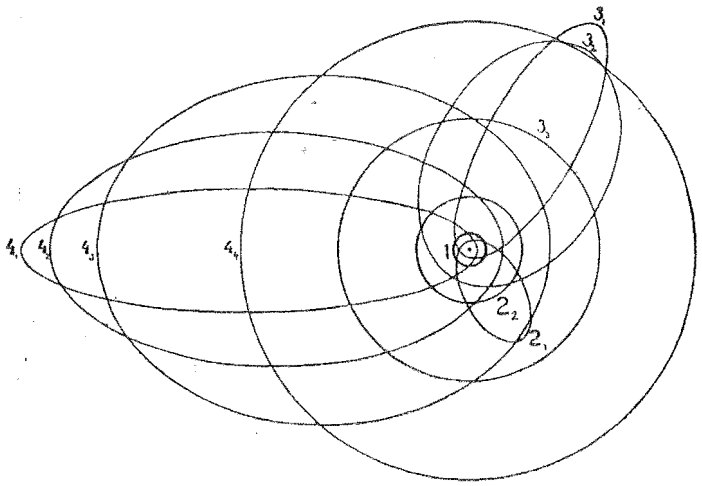


Fig. 14.

Bij de hoogere elementen, waar het electron door de overige electronen sterk in zijn baan gestoord wordt, zijn de zaken nog veel ingewikkelder, maar ook hier kunnen wij in eerste

benadering elke baan door het symbool n_k karakteriseeren, waarbij wij ons de banen des te langwerpiger voor te stellen hebben, naarmate n en k meer van elkaar verschillen. De banen 1_1, 2_2, 3_3, enz. zijn dus ongeveer cirkels van toenemende grootte, terwijl b.v. 3_1 een ellipsachtige baan voorstelt. In de tabel is nu voor een aantal elementen aangegeven, in hoeveel exemplaren elk baantype vertegenwoordigd is. Op de bijgevoegde gekleurde figuren [1]) zijn voor een reeks van elementen de verschillende banen van een atoom min of meer schematisch geteekend. In werkelijkheid moet men zich alles, wat hier in een plat vlak geteekend is, in de ruimte voorstellen, en het is wel mogelijk dat de figuren in de bijzonderheden nog moeten veranderd worden. Maar in de hoofdtrekken geven zij een mooie illustratie van den meer en meer ingewikkeld wordenden bouw der electronenschil. In het algemeen zijn de banen geen gesloten krommen. Men moet zich de eene lus, die van dit soort van banen geteekend is dan voortgezet denken.

Wij willen nu tot de beschouwing van het periodiek systeem overgaan en beginnen met *helium* [2]). Sinds het begin van *Bohr's* theorie zijn alle mogelijke modellen van dit element verzonnen. Maar zij hadden alle het een of ander gebrek. Zij waren of niet mechanisch stabiel of gaven niet de goede ionisatiepotentiaal, enz. Op grond van het heliumspectrum en vooral van de proeven van *Franck* en zijn medewerkers over electronenbombardement, die zeer veel tot de opheldering van het heliumspectrum bijgedragen hebben, denkt

[1]) Deze figuren zijn overgenomen uit *H. Holst* og *H. A. Kramers*, Bohrs Atomteori, Kopenhagen 1922.

[2]) Bij het volgende raadplege men altijd tegelijk fig. 15, de tabel 2 op blz. 49 en de gekleurde figuren.

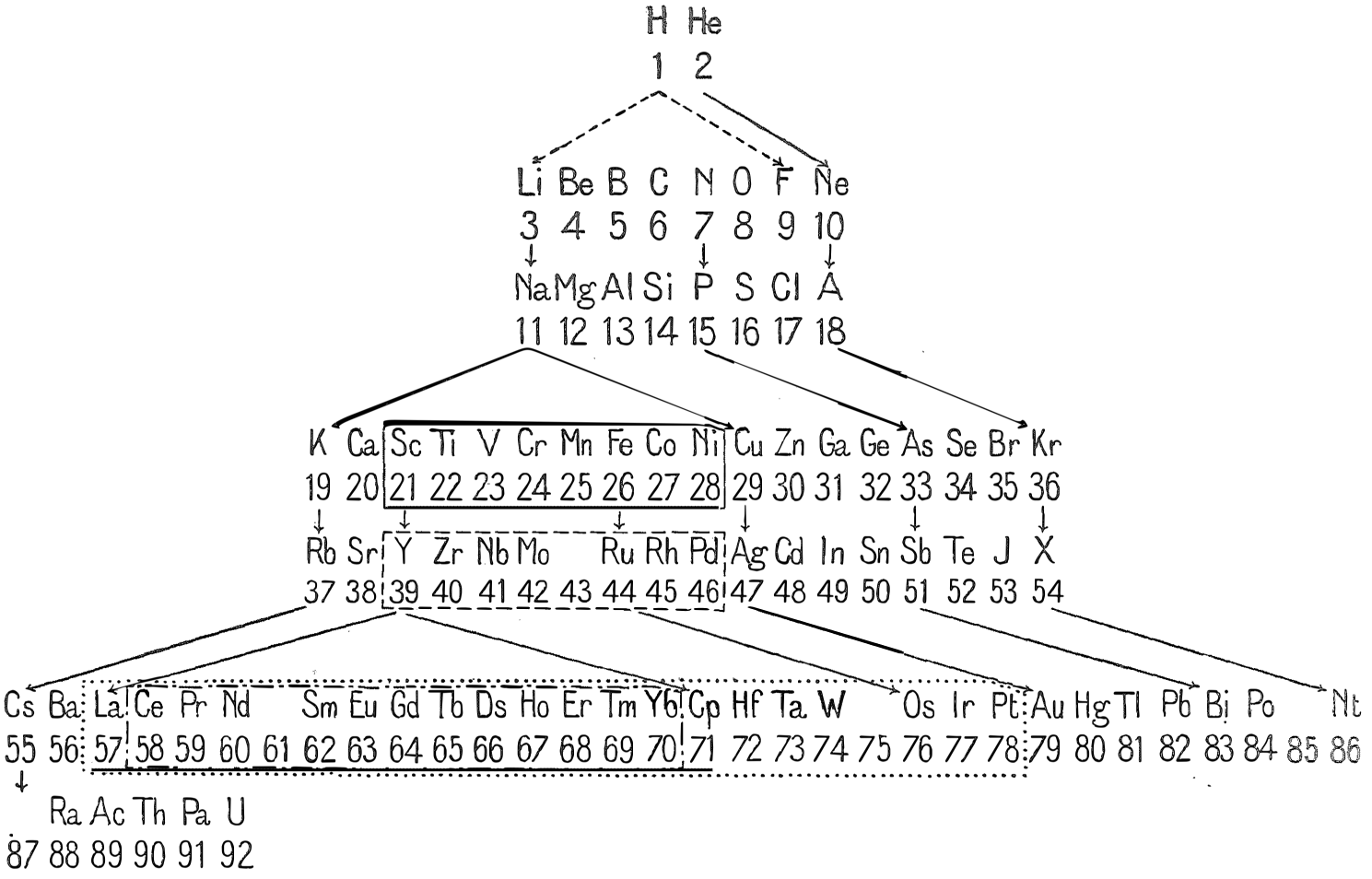


Fig.15 Het periodiek systeem der elementen.

Bohr, dat in neutraal helium de beide electronen op gelijkwaardige cirkelbanen loopen, wier baanvlakken een hoek van 120° maken. De electronen zijn hier bijzonder vast gebonden en dit verklaart, dat helium de hoogste ionisatiepotentiaal van alle elementen heeft en daarom de minste neiging vertoont, chemische verbindingen te vormen. Bij alle verdere elementen zijn de twee binnenste electronen op dezelfde manier gerangschikt en vormen de in het vorige hoofdstuk beschouwde „K-schil" [1]). Alleen worden de afmetingen der banen onder den invloed der grootere kernladingen natuurlijk kleiner.

Bohr laat zien, dat het derde electron, dat bij lithium erbij komt, niet meer op een 1_1 baan loopen kan. Op de langwerpige 2_1 baan, die het daarom kiest, is het lang niet meer zoo vast gebonden en kan tamelijk gemakkelijk verwijderd worden. Lithium is een alkali en electropositief. Bij het volgende element beryllium zijn de twee uiterste electronen elk op een 2_1 baan en verklaren de tweewaardigheid van dit element. De spectra der volgende elementen in de tweede rij van het periodiek systeem zijn nog niet voldoende onderzocht, om met eenige zekerheid iets over de configuratie der erbij komende electronen te kunnen zeggen. Zeker is echter, dat zij zich allen op *twee*quants banen moeten bewegen. Bij *koolstof* is de schikking der banen zeer symmetrisch. Men moet zich denken, dat de vier electronen afwisselend in gelijke tijdsintervallen bij wijze van een viertaktmotor in de nabijheid van de kern komen. Nog symmetrischer moet de electronenconfiguratie bij het edelgas *neon* zijn. Daar zijn de 2_1- en de 2_2-banen elk in vier exemplaren vertegenwoordigd en op een

[1]) Evenzoo zijn de in het vorige hoofdstuk beschouwde L M enz. schillen de banen waarvoor n = 2, 3 enz.

zoodanige manier gerangschikt, dat het heele atoom een afgesloten geheel vormt, waaruit haast geen krachtlijnen naar buiten komen. Het element vertoont hierdoor de eigenschappen van een chemisch inactief edelgas. Wij vinden nu verder bij elk edelgas, dat de buitenste electronen in twee groepen van vier zijn gerangschikt.

Het volgende element, *natrium*, is weer een alkali. Uit zijn spectrum kunnen wij aflezen, dat het 11^{de} electron zich op een 3_1-baan moet bewegen. Op deze baan, die zooals wij gezien hebben langwerpig moet zijn, beleeft het electron iets heel bijzonders. Buiten, als het ver van de kern verwijderd is, schermen de andere 10 electronen, die in de symmetrische neonconfiguratie gerangschikt zijn, de kernlading zoo af, dat het zich verbeeldt, om een waterstofkern te loopen. Maar zoodra het dan dichter bij de kern komt, wordt het hoe langer hoe meer door de overige electronen gestoord. Het dringt tusschen de 2_2- en 2_1-electronen door tot diep in het atoom en komt dichter bij de kern dan zelfs de twee binnenste K-electronen. In het atoom, dicht bij de kern, kunnen de andere electronen, die voor het grootste gedeelte verder buiten liggen, niet veel meer van de positieve kernlading neutraliseeren. Onder den invloed van de groote aantrekking krijgt het valentieëlectron dan een zeer groote snelheid en passeert in razende vaart de kern. Vervolgens vliegt het weer naar buiten, waar de effectieve kernlading niet veel van één verschilt. Buiten lijkt de baan dus op een ellips, zooals die ook bij waterstof kan voorkomen, terwijl het stuk van de baan binnen in het atoom een zeer gecompliceerd karakter heeft, waarvan de bijzonderheden nog niet bekend zijn. Het is te begrijpen, dat door den gecompliceerden vorm de energie van deze 3_1-baan heel anders is, dan van een 3_1-ellips bij waterstof. Het buitenste „waterstof-

achtige" stuk maakt echter, dat de bouw van het spectrum van natrium en de overige alkaliën veel overeenkomst vertoont met die van het waterstofspectrum.

De zwakke binding van het 11de electron heeft de alkali-eigenschappen van natrium ten gevolge. Alleen het buitenste electron kan gemakkelijk verwijderd worden. De andere zijn in de neonconfiguratie te sterk gebonden. Dat maakt, dat natrium altijd *positief* éénwaardig is. Bij het volgende element, *magnesium*, zijn de *twee* buitenste electronen betrekkelijk zwak gebonden. Magnesium en de overige aardalkaliën zijn daarom tweewaardig positief. Om analoge redenen is aluminium driewaardig, enz.

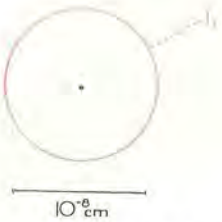
Maar hoe is dan het *negatieve* karakter b.v. van fluor te begrijpen? Fluor met zijn negen electronen staat in het periodiek systeem vlak voor neon met zijn hoogst symmetrische electronenbouw. Het zal daarom trachten, door binding van een tiende electron aan zijn electronenconfiguratie een analoge symmetrie en stabiliteit te geven. Zuurstof moet te dien einde nog twee electronen tot zich nemen, heeft dus het streven, dubbel geladen negatieve ionen te vormen.

Op deze wijze zijn in groote trekken de chemische valenties der elementen uit het atoommodel te begrijpen. Men is evenwel nog lang niet zoo ver, alle bijzonderheden daarbij te kunnen verklaren. Dat de theorie van *Bohr* voor de verklaring der chemische eigenschappen der stof nog weinig nieuws opgeleverd heeft, is voor een groot gedeelte te wijten aan de omstandigheid, dat wij bij chemische omzettingen te doen hebben met *moleculen*, waarbij weer nieuwe complicaties optreden.

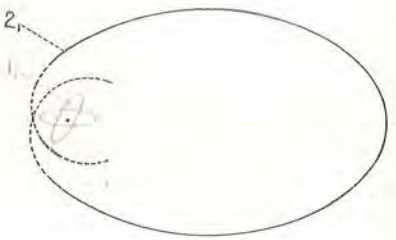
Wij willen nu verder gaan in de beschouwing van het periodiek systeem. De binding der volgende electronen ge-

beurt precies eender als bij de overeenkomstige elementen in de tweede periode, slechts met dat verschil dat wij nu met 3_1- en 3_2-banen te doen hebben. Bij *argon* is weer de typische edelgasconfiguratie bereikt.

De vierde periode, die met *kalium* begint, toont ons weer iets heel nieuws. Het 19de electron bij kalium en het 20ste bij calcium zijn op langwerpige 4_1-banen gebonden, die diep in het atoom binnen dringen. De eigenschappen van deze twee elementen zijn dezelfde als die van natrium en magnesium, de analoge elementen van de derde rij. Maar bij *scandium* wordt het 21ste electron niet ook, zooals wij misschien zouden verwachten, op een 4-quantsbaan gebonden. De cirkelvormige 3_3-banen treden hier voor het eerst in functie. Want een electron kiest altijd die baan, waarop het het sterkst gebonden is (waarop zijn energie het kleinst is) en bij scandium is dat een 3_3-baan en geen 4-quantsbaan. Ook bij de volgende elementen worden de nieuw erbij komende electronen op 3-quantsbanen gebonden, wat ten gevolge heeft, dat de eigenschappen van deze elementen hoe langer hoe meer van die van de elementen in de derde periode gaan verschillen. Door de aanwezigheid van electronen op de 3_3-banen wordt de symmetrie van de 3_1- en 3_2-banen gestoord, zoodat deze weer in staat zijn, nog electronen erbij op te nemen. Door deze completeering van de driequantsbanen waarbij aan de *peripherie weinig veranderd* wordt, is het optreden van *chemisch homologe* elementen zooals de ijzer-, cobalt-, nikkelgroep gemakkelijk te begrijpen. In fig. 15 is door omlijsting aangeduid, bij welke elementen een zoodanige completeering van een inwendige groep plaats heeft. Bij koper ($Z=29$) is de reorganisatie voltooid en er zijn 3×6 3-quantsbanen. Omdat het 29e electron het eenige is, dat op een 4_1-baan loopt, zal koper in vele opzichten op een alkali

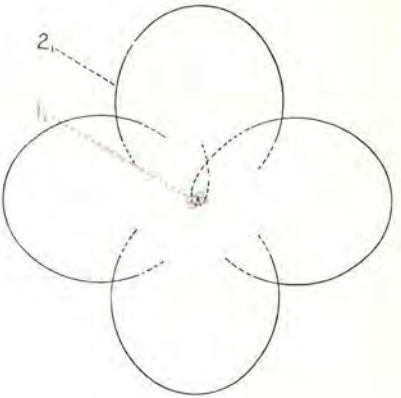


WATERSTOF (1)

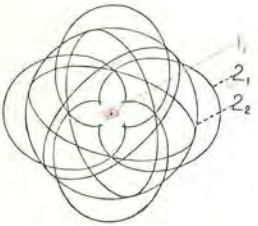


LITHIUM (3)

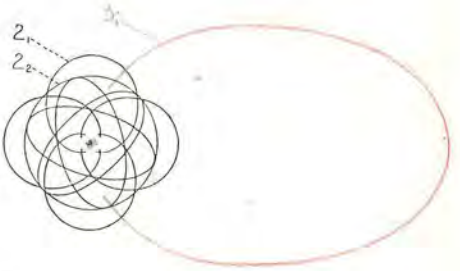
HELIUM (2)



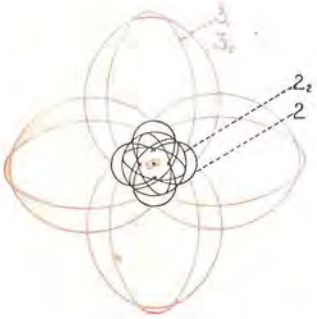
KOOLSTOF (6)



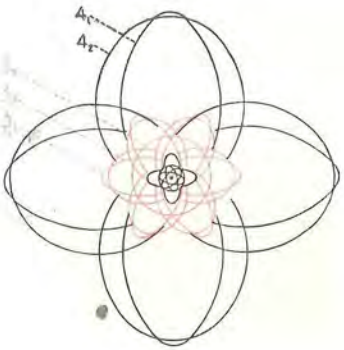
NEON (10)



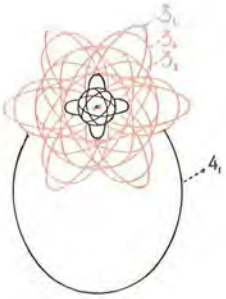
NATRIUM (11)



ARGON (18)



KRYPTON (36)



KOPER (29)

lijken, maar de aanwezigheid van de complete 3-quantsgroep zorgt ervoor, dat koper ook vele verschilpunten met de alkaliën heeft (meervoudige waardigheid enz.) Bij de elementen, die op koper volgen, worden de erbij komende electronen allen op 4_1- en 4_2-banen gebonden. De bouw van de peripherie vertoont nu hoe langer hoe meer dezelfde structuur als bij de laatste elementen der derde periode, waarmee deze stoffen dan ook in hun chemisch gedrag hoe langer hoe meer overeenkomst vertoonen. Bij *krypton* ($Z=36$) wijst de 4,4 configuratie er op, dat wij hier met een edelgas te doen hebben en de vierde periode daarmede afgesloten is. *Bohr* heeft op deze wijze een ongedwongen verklaring van het optreden der lange periodes gegeven.

De opbouw der vijfde periode gebeurt op precies dezelfde wijze als bij de vierde. Ook de zesde periode begint weer normaal. Bij *lanthaan* ($Z=57$) zet de reorganisatie der 5-quantsgroep in, zooals wij die naar het voorbeeld van scandium in de vierde periode ook zouden verwachten. Maar bij *cerium* herinnert het atoom zich, dat het ook nog verder in zijn binnenste open plekken heeft. Het 58de electron wordt dan op een 4_4-baan sterker gebonden dan op een 5_3-baan. Met cerium zet nu een algemeene reorganisatie van de vierquantsgroep in. Deze reorganisatie eindigt pas, als de vierquantsgroep met 4×8 electronen bezet is. Tijdens het aanvullen van de vierquantsgroep, die al diep in het atoom ligt, blijft de peripherie onveranderd en daarmede ook de chemische eigenschappen, die alleen van de buitenste electronen afhangen. Dat is een mooie verklaring voor het vroeger zoo raadselachtige optreden van de *zeldzame aarden*. Een eenvoudig rekensommetje leert, dat bij het element 71 cassiopeïum de completeering van de inwendige groep moet voltooid zijn,

dat dus het element 72 niet meer tot de zeldzame aarden behoort, maar, zooals een blik op de tabel leert, de eigenschappen van zirkonium moet hebben.

Nu dachten *Dauvillier* en *Urbain* het element 72 gevonden te hebben en wel met de eigenschappen van een zeldzame aarde en hadden het *celtium* genoemd. Dat was in directe tegenspraak met *Bohr's* opvatting. Daarom zochten *D. Coster* en *G. v. Hevesy* in de overtuiging, dat *Bohr's* interpretatie van het periodiek systeem juist is, in zirkoniumhoudende mineralen, of daarin niet het element 72 met ongeveer dezelfde eigenschappen als zirkonium aanwezig was. Zij, en daarmede ook de theorie van *Bohr* hadden een volledig succes. Met behulp van het Röntgenspectrum vonden zij, dat haast alle zirkoniummineralen het gezochte element 72, dat zij ter eere van de stad, waar *Bohr's* theorie ontstond, *Hafnium* noemden, tot een percentage van 20 % bevatten. Zij slaagden erin, het nieuwe element haast volkomen vrij van zirkonium te bereiden en konden de physische en chemische eigenschappen ervan bestudeeren, die in volle overeenstemming waren met *Bohr's* voorspellingen. Het bleek dat *Urbain's* celtium, dat hij voor het nieuwe element 72 gehouden had, niets anders was dan het al langer bekende element 71 cassiopeium.

Nadat de 4-quantsbanen opgevuld zijn, worden de 5-quantsbanen verder bezet, totdat deze bij platina een voorloopige symmetrische rangschikking bereikt hebben en de verdere electronen in 6_1- en 6_2-banen gebonden worden. Dat gebeurt alles precies zoo als bij de overeenkomstige elementen van de 4de en 5de periode. De opbouw van de 7de periode, waarvan slechts de eerste elementen bekend zijn, moet in hoofdzaak zoo gebeuren als in de 6de.

Men zal nu natuurlijk naar experimenten zoeken, om de juistheid van *Bohr's* denkbeelden te kunnen controleeren en opheldering te verkrijgen over vele bijzonderheden, waaromtrent men nu nog heelemaal in het onzekere is.

De meest karakteristieke trek van *Bohr's* theorie van het periodiek systeem is het opvullen van binnen in het atoom liggende groepen van electronen, waardoor het optreden van op elkaar volgende chemisch homologe elementen verklaard wordt. Het opvallendst is dat te zien bij het begin der zeldzame aarden, waar de reorganisatie der 4-quantsgroep inzet, terwijl er al electronen op 5-quants en 6-quantsbanen aanwezig zijn. Deze reorganisatie moet in de Röntgenspectra, die ons bericht uit het inwendige van het atoom brengen, tot uitdrukking komen.

Als plotseling bij cerium een electron op een 4_4 baan verschijnt, dan moeten de andere 4-quantselectronen en de verder buiten liggende 5-quants en 6-quantselectronen den invloed daarvan heel goed kunnen merken. Er moeten dan sterke afwijkingen in het rechtlijnig verloop der op blz. 44 beschouwde curve plaats hebben, want de afscherming der kernlading is nu veel grooter geworden. Fig. 13 toont duidelijk de scherpe knik bij de 4-quantsgroep (N-niveau) en bij de 5-quantsgroep (O-niveau) bij het begin der zeldzame aarden. De energie van de 5-quantselectronen verandert bij de zeldzame aarden heel weinig, ofschoon de kernlading bij elk element één grooter wordt. Dit bewijst duidelijk, dat de erbij komende electronen werkelijk op vierquantsbanen gebonden worden.

Andere typische verschijnselen bij de elementen, waarbij een inwendige groep bezig is zich te completeeren, zijn de *magnetische eigenschappen* en de *kleur der ionen*. Schijnbaar

hebben deze twee dingen niets met elkaar te maken, maar volgens de theorie van *Bohr* hebben zij eenzelfde oorzaak, nl. het bestaan van zieke plekken in het atoom. Hebben wij b.v. een natriumion, dan is de heele electronenconfiguratie zoo symmetrisch, dat alle magnetische krachtlijnen binnen het atoom blijven en de electronen zijn alle zoo vast gebonden, dat de energie $h\nu$ van een *zichtbare* lichtstraal lang niet voldoende is, om een der electronen op een hoogeren stationnairen toestand te brengen. Anders is het bij de in fig. 15 omlijste groepen van elementen. De symmetrie is hier door de bijgekomen nieuwe inwendige electronen sterk gestoord, zoodat de magnetische krachtlijnen niet samengehouden kunnen worden en de ionen een groot magnetisch moment bezitten. Een 4_4-baan is daar maar weinig sterker gebonden dan een 5-quantsbaan, zoodat reeds zichtbaar licht voldoende is, om een overgang van een electron van de eene baan op de andere te veroorzaken. Er wordt dus zichtbaar licht geabsorbeerd, d.w.z. de ionen zijn gekleurd.

Zoo zijn hier Röntgenspectra en optische spectra, chemisch gedrag en magnetische eigenschappen en kleur der ionen en nog meer verschijnselen vanuit éénzelfde standpunt verklaard. Veel werk blijft nog te doen, om het reeds aanwezige experimenteele materiaal te ontwarren en door nieuwe proeven over de juistheid of onjuistheid van de veronderstellingen te beslissen. Maar bij al het mooie, dat door de theorie van *Bohr* bereikt is, mogen wij toch nooit vergeten, dat zij lijkt op een prachtig gebouw zonder fundament. Dit fundament te scheppen is de groote en moeilijke taak van de tegenwoordige natuurkunde. Op het oogenblik schijnt er nog een niet te overbruggen kloof tusschen de klassieke opvattingen en de quantentheorie te zijn. Bij het ontstaan van het licht

en bij alle andere quaesties waar energieomzettingen een rol spelen is de klassieke theorie niet in staat de verschijnselen te verklaren en hier blijkt de noodzakelijkheid van het invoeren der quantentheorie. Maar voor deze blijven alle verschijnselen waar interferentie en buiging bij te pas komen en die door de klassieke electromagnetische theorie zoo mooi en volledig verklaard konden worden een volkomen raadsel. Wij moeten hopen, dat beide, klassieke en quantentheorie, kunnen ondergebracht worden in een meer omvattende toekomsttheorie, waarvan wij den vorm zelfs niet kunnen gissen.

In het voorafgaande konden maar enkele grepen gedaan worden uit de physica van het atoom, en vele namen van mannen, die een belangrijk deel aan de ontwikkeling van deze tak der natuurkunde gehad hebben, moesten achterwege blijven. Men vindt meer in de hieronder genoemde boeken, waarin ook verdere literatuur opgegeven is.

A.

H. A. LORENTZ, Beginselen der Natuurkunde, Deel II, 8e Druk, Leiden, Brill 1922.

E. GRIMSEHL, Lehrbuch der Physik, II. Band, 5. Aufl. Leipzig u. Berlin, Teubner 1923.

B.

B. RUSSELL, The A B C of Atoms, London, Kegan, Paul and Co. 1923.

P. KIRCHBERGER, I. Atom—, II. Quantentheorie. Leipzig u. Berlin, Teubner 1923.

L. GRAETZ, Atomtheorie in ihrer neuesten Entwicklung (laatste druk) Stuttgart, Engelhorn 1922.

M. BORN, Aufbau der Materie. Berlin, Springer. 2. Aufl. Fransche vertaling, Paris, Blanchard 1922.

W. KOSSEL, Valenzkräfte und Röntgenspektren. Berlin, Springer. 1921.
Fransche vertaling, Paris, Blanchard 1922.

W. GERLACH, Atombau und Atomabbau. Jena, Fischer 1923.

H. A. KRAMERS and H. HOLST, The Atom and the Bohr Theory of its Structure. London, Gyldendal 1923.

C.

N. BOHR, Drei *Aufsätze* über Spektra und Atombau. Braunschweig, Vieweg 1922.
Engelsche uitgave. Cambridge University Press.

A. SOMMERFELD, Atombau und Spektrallinien. (3de druk) Braunschweig, Vieweg 1922.
Fransche vertaling. Paris, Blanchard 1923.
Engelsche vertaling. London, Methuen and Co. 1923.

E. N. DA C. ANDRADE, The Structure of the Atom. London, Bell 1923.

„BOHR—HEFT" der „Naturwissenschaften". Berlin, Springer 1923.

Ergebnisse der exakten Naturwissenschaften. Berlin, Springer. I. Band 1922. II. Band 1923.

H. A. KRAMERS, De bouw der atomen en de physische en chemische eigenschappen der elementen. Physica 2, p. 269, 381; 3, p. 12, 1922.

G. HERTZ, Over de geleiding van electriciteit in gassen. Physica 2 p. 15, 61, 93, 148, 1922.

DE ONTWIKKELING VAN ONS STERREKUNDIG WERELDBEELD

DOOR DR. A. PANNEKOEK.

I.

Aan de primitieve mensch vertoont zich de wereld begrensd door een vlakke aardbodem, zijn woonplaats, beneden, en een hemelkoepel daarboven, waaraan zon en maan opstijgen en ondergaan. Op de vragen, hoe ver de aarde zich uitstrekt, waar zij op rust, waar de zon 's nachts blijft, e.d., vindt men in de oude mythen der volkeren, zoowel als bij de eerste denkers der opkomende beschaving, enkele antwoorden. Maar een zich ontwikkelende sterrekundige kennis ontstaat eerst door de opzettelijke en geregelde waarneming, waartoe de praktische behoeften van het leven aanleiding geven. De behoefte aan orienteering op reizen over zee en door de woestijn leidt tot de kennis van eenige sterrebeelden. Nog belangrijker is de behoefte aan een meting van de tijd. Bij landbouwende en zeevarende volken worden de jaarlijksche tijdstippen van zaaien, planten, oogsten, van stormen en veilig verkeer herkend aan het op en ondergaan van bepaalde sterrebeelden 's ochtends of 's avonds. Het belangrijkste hemellichaam voor de tijdrekening is de maan; de maanperiode van $29^1/_2$ dag is bij alle natuur- en vele kultuurvolken de natuurlijke tijdmaat, die telkens met het verschijnen van de nieuwe maan (d.i. de eerste avondsikkel) begint. Daarop berust de vereering van de maangod als oudste der goden; de priesters, die voor de tijdrekening zorgen (en nu nog bij de Mohammedanen bij

het verschijnen van de maansikkel de nieuwe maand afkondigen) worden de waarnemers van de hemel. Twaalf zulke maanden vormden het jaar; bij landbouwende volken ontstond de noodzakelijkheid nu en dan maanden in te schakelen, omdat een werkelijk zonnejaar ongeveer $12^1/_3$ maanmaanden bedraagt; dit geschiedde eerst empirisch, later meer wetenschappelijk. In Babylonië kwam de priesterkaste door regelmatig waarnemen van de hemelverschijnselen tot een vaste schakelingsregel, zooals nu nog in de Joodsche kalender bewaard is (7 extra maanden in 19 jaren); hier ontwikkelde zich langzamerhand een nauwkeurige kennis van de perioden der hemellichamen, van hun eclipsen en van methoden om ze vooruit te berekenen. Op de basis van deze sterrenleer was Babylon van 2000 tot 500 v C. het centrum van geestes-kultuur voor de omringende volken.

Een nieuw wereldbeeld ontstond echter niet uit deze kennis; daarvoor was zij als priesterwetenschap te vast aan de overgeleverde wereldvoorstelling verbonden. Dat gebeurde bij de Grieken, waar een machtige priesterhierarchie ontbrak en de wetenschap van het begin af in de handen van leeken was. Als volk van zeevaarders en kooplieden waren zij ontvankelijk voor nieuwe gedachten en vrij van traditie; vooral in de koloniën (Klein-Azië en Zuid-Italie) groeiden zelfstandige denkers op, die zich een eigen wereldbeeld vormden. Het waren geen waarnemers, maar denkers; slechts wat ieder toevallig opmerkte, en soms dat niet eens, werd in dit wereldbeeld verwerkt. Zij zagen met hun geest de hemellichamen met de hemel onder de aarde door loopen; dus besloten zij, dat de aarde als een beperkt, begrensd lichaam zich binnen een omsluitende hemelbol bevindt. Bij Anaxagoras is de aarde een lichaam met platte oppervlakte, waar wolken en luchtgebieden bijbehooren, terwijl aan de omsluitende hemelbol geen boven en onder te onderscheiden is. Deze voor-

stelling werd overwonnen door de erkentenis van de bolvorm van de aarde. Zeevaarders moesten spoedig aan het oprijzen van verre gebergten boven de kim bemerken, dat het aardoppervlak gebogen was; ook zagen ze in Zuidelijker zeeën sterren boven de horizon komen, die in 't Noorden onzichtbaar waren. Het eerst treedt de gevolgtrekking, dat de aarde een bol is, op bij de Pythagoreeërs; zij wordt door de latere wijsgeeren (Parmenides, Empedocles) aanvaard, die er de leer van verschillende aardzones en klimaten op bouwen. Toch bleef er nog een tegenstelling bestaan tusschen de algemeene bolvorm van hemel en aarde, en de natuurkundige ervaring van de zwaarte, die tusschen boven en onder onderscheidt.

Deze tegenstelling is overwonnen in het wereldbeeld van Aristoteles. Door de zwaarte als een naar het middelpunt der wereld gerichte kracht te beschouwen, worden de bolvorm van hemel en aarde en de centrale plaats van de aarde in het middelpunt van de wereld harmonisch verklaard. De elementen groepeeren zich om het middelpunt naar hun zwaarte, de aardsche elementen bewegen van en naar het middelpunt; wat uit het hemelsche element bestaat, wentelt in eeuwige kringbewegingen om dit middelpunt. Wat onze beperkte ervaring als een rechthoekig-verticaal-horizontaal gebouwde wereld doet kennen, blijkt een zeer klein onderdeel te zijn van de veel grootere wereld, die stralig-concentrisch om een middelpunt is opgebouwd. Deze wereldleer van Aristoteles is duizend jaar lang de grondslag van de kosmische voorstellingen der menschen gebleven.

Dat wil niet zeggen, dat ze dadelijk algemeen aanvaard werd als de meest ontwikkelde wereldvoorstelling. Het geestelijk leven der Grieken was in sterke gisting en ontwikkeling; de philosophie van Aristoteles was slechts één uit de vele stelsels van die tijd, en bij andere denkers vindt men

andere, vaak dieper doordachte, meer ontwikkelde en zuiverder denkbeelden. Zoo leerde zijn tijdgenoot Herakleides, van wie geen eigen geschriften bewaard zijn gebleven, dat de aarde om haar as wentelt. De Grieken als zeevaarders konden dikwijls genoeg opmerken, dat een snelle beweging gepaard kan gaan met een gevoel van stilstand, terwijl de geheele buitenwereld de tegengestelde beweging schijnt te hebben. Dus was het inzicht, dat de dagelijksche wenteling van de hemelbol maar schijn is en een gevolg van onze eigen beweging, niet verwonderlijk bij sommige denkers van die tijd. Nog meer tot een modern wereldinzicht naderde, een halve eeuw na Aristoteles, Aristarchus van Samos. Nadat hij door een vernuftige berekening gevonden had, dat de zon in middellijn de aarde wel vijf maal, dus in inhoud wel honderd maal overtreft, besloot hij, dat niet de zon jaarlijks om de aarde, maar de aarde in een jaarlijksche kring om de zon rondloopt.

II.

Met de veldtocht van Alexander begint een nieuw tijdperk; een veel wijdere wereld werd voor de Grieken geopend. De Aziatische cultuur smolt met de Grieksche samen in het Hellenisme. De Grieksche wijsgeeren kregen beschikking over een rijker feitenmateriaal en namen de methode van stelselmatig waarnemen der hemelverschijnselen over. In Alexandrië werden door de Ptolemaeën de akademie en de bibliotheek gesticht als centrum van wetenschap; hier mat Eratosthenes het eerst de grootte van de aardbol. Maar de voornaamste ontwikkeling in de volgende eeuwen heeft betrekking op de planeten.

De planeten waren van oudsher in Babylon waargenomen; bij het regelmatig beschouwen van de hemel vielen zij op als beweeglijke, vrij rondwandelende lichten te midden van

het vaste landschap der sterren. Hun grillige bewegingen werden beschouwd als teekenen, die aardsche gebeurtenissen begeleidden en aankondigden. Zij werden geidentificeerd met de voornaamste goden, en de regelmatige waarneming van hun beweging door de priester-sterrekundigen, de basis van de astrologie, leidde mettertijd tot een nauwkeurige kennis van hun perioden en zelfs van de kleinere onregelmatigheden in hun beweging.

In Griekenland waren de planeten ook reeds bekend, maar zonder astrologie; Eudoxus had het algemeene karakter van hun beweging (beurtelings vooruit en terugloopen) weergegeven door een wiskundig uiterst vernuftige, praktisch echter niet voldoende theorie, die door Aristoteles in zijn wereldstelsel ingevoegd werd in de vorm van binnen elkaar draaiende doorschijnende bollen, die de planeten droegen. In het Hellenistisch tijdperk drong de astrologie bij de Grieken door en stelde het praktisch vraagstuk van de berekening van de planetenloop, door de Grieksche meetkunde op het Oostersche ervaringsmateriaal toe te passen. Dit werd het eerst bij Venus en Mercurius opgelost door hun een cirkelbaan om de zon toe te kennen; de toepassing van dezelfde gedachte op de andere planeten leidde tot de epicykeltheorie (Apollonius, Hipparchus). De opvattingen van Herakleides en Aristarchus konden voor dit praktische doel niets beters geven, en waren in strijd met de eenvoudige en harmonische natuurkunde van Aristoteles. In deze bloeitijd van de wiskundige sterrekunde, van praktische wetenschap zonder veel speculatie, ontwikkelt zich de meetkundige theorie van de beweging der hemellichamen tot groote volkomenheid. Toen het Romeinsche rijk de geheele beschaafde wereld samenvatte, werden ook de wetenschappen in groote verzamelwerken samengevat; zoo de sterrekunde in de Almagest van Ptolemaeus (140 n. C.). In dit werk vormt Aristoteles de grondslag; om de aarde in het centrum loopen

zon, maan en planeten in cirkels of combinaties van cirkels, door preciese getallenwaarden beheerscht, terwijl als buitengrens de hemelbol alles in zijn dagelijksche draaiing meeneemt.

Maar reeds ging de oude wereld bergafwaarts. In de diepste lagen van de volksmassa groeide een nieuwe levensleer, die zich afwendde van kultuur en geestesbeschaving en alle aardsche wijsheid voor ijdel verklaarde. Met de economische ineenstorting, die in de 3de eeuw begon en de maatschappij tot primitief-agrarische toestanden terugbracht, kwam ook de terugkeer tot het daarbij behoorende primitieve wereldbeeld. De kerkvaders weerlegden de klassieke philosophen met argumenten uit de bijbel, aan het Babylonisch wereldbeeld ontleend. De volksverhuizing veegt bijna alle sporen van geestelijke kultuur uit Europa weg.

In het Oosten, waar de achteruitgang het geringst was, vestigen de Arabieren om Voor-Azië als centrum een wereldrijk, dat een reusachtig volkencongerie tot een handels- en kultuureenheid samenvat. Van de Nestorianen en Grieken nemen zij de overgeleverde wetenschap en in hoofdzaak het Grieksche wereldbeeld over; een sterke wetenschappelijke energie ontplooit zich, wiskunde, chemie, philosophie, astrologie worden beoefend, sterrekundige waarnemingen worden gedaan en de getallenwaarden der Grieken verbeterd. Tot een voortgaande ontwikkeling en een nieuw wereldbeeld is het niet gekomen, en daarna hebben de verwoestingen door Turken en Mongolen deze kultuur vernietigd.

Europa lag in die tijd in diepe barbaarschheid, met moeite standhoudend tegen de bedreiging door de Islam, en de aanvallen van ruwe volken uit het Noorden en Oosten. Eerst na 1000 worden deze bedwongen; de steden komen op, de christelijke kerk wordt georganiseerd tot een leidende geestelijke macht, het intellect der maatschappij. De tegenaanvallen tegen de Islam leiden tot een nauwere aanraking en tot overnemen

van de wetenschap der Arabieren. Langzaam komt in het Westen, vooral van uit Spanje, de kennis der oude schrijvers, eerst in bedorven vertalingen. Ook Aristoteles wordt bekend, maar eerst verboden. Dan echter vereenigt in de dertiende eeuw Thomas van Aquino, terwijl de kerk op het toppunt van macht tot een universeele Europeesche monarchie wordt, de kosmologie en philosophie van Aristoteles met de christelijke kerkleer tot één geheel, de scholastiek. In de volgende eeuwen is het wereldbeeld van Aristoteles de basis van de wereldbeschouwing der ontwikkelden in Europa (b.v. bij Dante).

III.

De ontwikkeling in de 14de en 15de eeuw bereidt de nieuwe tijd voor. De kerkelijke universeele monarchie maakt plaats voor de nationale staten, met leeken-beambten en leeken intellekt; de rijke stedelijke burgers komen tot macht. De studie der klassieken wordt verdiept, vooral van de Grieksche werken; Plato en Ptolemaeus worden bekend. Zelfstandige wis- en sterrekundigen komen op; Peurbach geeft een verklaring van de epicykels (1450); Regiomontanus reist naar Italië voor Grieksche manuscripten en doet nieuwe waarnemingen. Practische maatschappelijke behoeften dreven tot nieuwe beoefening van de sterrekunde: de zeetochten der Portugeezen deden de behoefte voelen aan goede plaatsen der hemellichamen, om de plaats op zee te kunnen vinden; en de kerk stond voor het probleem van de hervorming van de kalender, die in de war geloopen was. In deze steeds intensievere praktische beoefening van de sterrekunde groeiden nieuwe denkbeelden op. De beslissende stap deed Copernicus.

De aswenteling van de aarde als andere verklaring van de draaiing van de hemelbol was reeds bij de Grieken be-

kend geweest. Copernicus vond, dat de epicykelbeweging van de planeten evenzeer als een schijnbeweging te verklaren was, een weerspiegeling van een jaarlijksche beweging van de aarde om de zon. De heliocentrische theorie was nu een noodzakelijke stap geworden als vereenvoudiging van de oude planetentheorie. In de physische wetenschap ontbrak echter elke praktische stoot tot vernieuwing der denkbeelden; hier heerschte Aristoteles nog onbeperkt; en de physische argumenten van Copernicus tegenover Ptolemaeus gaan nog geheel van de philosophie van Aristoteles uit. Copernicus behoort tot de renaissance, die de kultuur der oudheid in de plaats van de middeleeuwsche stelt, en gaat nog in de denkwijze der oudheid op.

De eeuw na Copernicus brengt de volledige overgang tot moderne opvattingen. In de maatschappelijke en geestelijke gisting en strijd speelt ook de nieuwe wereldleer, die toen nog slechts weinig aanhangers had, een rol. Zij brengt een ruimer wereldbeschouwing; de door stralig gerichte zwaarte beheerschte wereld van Aristoteles blijkt een klein deel van het groote zonnestelsel te zijn. De gevolgtrekkingen, dat de aarde een planeet te midden van gelijkwaardige werelden is, en dat inplaats van de hemelbol een eindelooze ruimte treedt met sterren, gelijkwaardig met de zon, tast de algemeen aangenomen leer van de centrale beteekenis van het menschdom aan, die ook de basis van de kerkleer was. De kerk, die in de tijd van de renaissance Copernicus gesteund had, reorganiseerde zich na de hervorming, lette scherper op geestelijke tucht en nam allengs stelling tegenover de consequenties van het nieuwe wereldstelsel. Tot een konflikt kwam het in het begin van de 17de eeuw.

In de 16de eeuw beginnen zich uit praktisch-technische vraagstukken (ballistiek, bouwkunst, waterbouwkunde) in Italië en Holland nieuwe natuurkundige denkbeelden over

beweging en rust te ontwikkelen. Galilei doet (omstreeks 1600) opzettelijke proeven om ze te toetsen, vindt de wetten van de vrije val en de slingerwetten en komt tot het inzicht, dat aan zichzelf overgelaten lichamen niet streven naar rust, maar naar behoud van de voorhanden beweging.

Daarmee wordt de grondslag van Aristoteles' natuurkunde en daarmee ook het voornaamste argument van Ptolemaeus tegen de beweging van de aarde weerlegd. Met de pas uitgevonden verrekijkers ontdekt hij de bergen op de maan, de schijf- en sikkelvorm der planeten, de manen van Jupiter, alles als bevestiging van de gelijkwaardigheid van de andere planeten met de aarde. In de strijd, die nu ontstond, besliste de kerk tegen de nieuwe leer, door deze in 1616 op de Index te plaatsen; en toen Galilei ondanks verbod en belofte in 1632 een populair werk ter uiteenzetting van de nieuwe wereldleer uitgaf, werd hij voor de inquisitie gedaagd en veroordeeld. Dit maakte, dat in de volgende eeuwen (tot de opheffing van het verbod in 1821) in katholieke landen wel met voorzichtigheid over deze dingen geschreven moest worden; maar in werkelijkheid belette het de ontwikkeling der ideeën niet. Sinds Galilei werd de beweging van de aarde door alle geleerden aangenomen en drong in de algemeene wereldbeschouwing door. Direkte bewijzen voor de beweging van de aarde (afplatting van de aarde, middelpuntvliedende kracht, passaten, slingerproeven, aberratie) zijn eerst naderhand gevonden, toen ze voor dit doel niet meer noodig waren, en zij hebben geen wezenlijke invloed op ons wereldbeeld uitgeoefend.

IV.

De bewegingen der hemellichamen zijn in werkelijkheid geen eenvoudige cirkels maar ingewikkelder. De Grieken wisten, dat de jaarlijksche loop van de zon afwisselend snel-

ler en langzamer geschiedde, en Hipparchus had dit verklaard door een excentrische cirkel. Bij Ptolemaeus zijn ook de planetencirkels excentrisch en worden met ongelijke snelheid doorloopen, en ook Copernicus moest deze onregelmatigheden door bijkomstige kleine epicykels weergeven, die zijn stelsel gecompliceerd maakten. De getallenwaarden waren over het geheel slecht bekend, doordat waarnemingen slechts nu en dan geschiedden. Eerst in de 16de eeuw begon een ijverig waarnemen onder de invloed van de astrologie.

De astrologie had in de Romeinsche en de Arabische tijd de astronomie beheerscht, als leer van de samenhang tusschen sterrenloop en aardsch gebeuren, waarvoor de epicykeltheorie de gegevens moest leveren. In de middeleeuwen was zij wel door de kerk bestreden, maar werd toch beoefend, en in de 16de eeuw, als gevolg van de groote maatschappelijke omkeeringen, onzekerheid en geestelijke ontwrichting, kreeg zij een groote invloed. Zij schiep de behoefte aan nauwkeurige voorspelling van de loop der planeten, dus preciese kennis van hun banen, die alleen door veel waarnemingen te verkrijgen was. Zij bracht Tycho Brahe er toe, in 1580—1600, een onafgebroken reeks van waarnemingen van alle hemellichamen te doen, met daarvoor speciaal vervaardigde uiterst nauwkeurige instrumenten. Dit rijke waarnemingsmateriaal is na Tycho's dood door Kepler gebruikt om de banen der planeten af te leiden. Geleid door een rijke fantasie, die de harmonieën der wereld wilde opsporen, en toegerust met onverdroten ijver in berekeningen, vond hij uit Tycho's waarnemingen van de planeet Mars in 1606 de wetten der planetenbeweging: de banen zijn ellipsen, met de zon in een brandpunt, en de snelheid in de baan neemt volgens de wet der perken toe en af, alnaar de afstand tot de zon kleiner of grooter wordt; van de zon gaat de drijfkracht uit, die de planeten voortstuwt. Naderhand kwam er als derde wet nog een

betrekking tusschen de omlooptijden der planeten en hun afstanden tot de zon bij.

Terwijl de 16de eeuw een tijd van overgang was, die theoretisch nog grootendeels in de oude philosophie leefde, is de 17de eeuw de eerste moderne eeuw. Ervaring, empirie en proefneming worden tot grondslag van de wetenschap. De ontwikkeling van de techniek uit handwerk als geheime persoonlijke kunst tot fabriekmatig bedrijf met verdeeling van arbeid doet de werktuigkunde als theorie der bewegingen opkomen en leidt tenslotte in de 18de eeuw tot de uitvinding van de nieuwe machines, die de basis voor de 19de eeuwsche grootindustrie scheppen. De geleerden houden zich met werktuigkundige kwesties bezig, zoowel theoretisch als technisch.

Nu vormt zich in plaats van de voorstellingen van Aristoteles een nieuw wereldbeeld, geformuleerd door Descartes, dat het heelal als een mechanisch stelsel opvat. De wereldruimte is gevuld met een fijne vloeistof, de wereldaether, die om de zon, de sterren en andere lichamen wervelt en door zijn draaiing de planeten en manen in cirkelbanen meevoert. Deze opvatting beheerschte de geheele 17de eeuw. Een moeilijkheid was hierbij de aardsche zwaartekracht uit deze draaiing te begrijpen. Langs een andere weg groeide intusschen een ontwikkeling van ideeën, die haar zou verdringen.

De formuleering van het beginsel der traagheid als rechtlijnige beweging bracht hier en daar in de 17de eeuw de opvatting, dat de cirkelbeweging der planeten door een aantrekkingskracht van de zon bewerkt kon worden. De wet van deze aantrekkingskracht werd door Newton 1670—'80 uit de wetten van Kepler afgeleid; uit de ellipsvorm van de baan en uit de derde wet vond hij dat deze kracht omgekeerd met de tweede macht van de afstand afneemt. Deze aantrekkingskracht gaat van alle hemellichamen uit, zij trekken

elkaar aan, omdat alle stofdeeltjes, waaruit zij bestaan, elkaar aantrekken. De gravitatie is dus een algemeene eigenschap van de stof, die door de leege ruimte heen onmiddellijk werkt en alle bewegingen der hemellichamen beheerscht. Deze theorie verklaarde niet slechts de planetenbeweging volgens de wetten van Kepler, de beweging van de manen en de aardsche zwaartekracht, maar bovendien ook de beweging van de kometen, de onregelmatigheden van de maan- en planeetbeweging, de ebbe- en vloedverschijnselen en de praecessiebeweging van de aardas.

Ondanks deze uitkomsten bleven de meeste geleerden (o.a. Huygens) de werveltheorie aanhangen, die een begrijpelijk beeld gaf, terwijl Newton's aantrekking van verre door de leege ruimte niet uit mechanische principes begrijpelijk was. Slechts in Engeland werd Newton's opvatting met veel succes toegepast op het berekenen van de bewegingen der hemellichamen. Toen echter sinds 1730 de Engelsche maatschappelijke en philosophische denkwijze in Frankrijk ingang vond (Voltaire), en een jonger geslacht van wiskundigen Newton's methode toepaste, verloor de leer van Descartes alle aanhang. Nu kwamen steeds meer triomfen van Newton's natuurleer; de Fransche wiskundigen leerden de bewegingen der hemellichamen met de uiterste fijnheid uit zijn wet van de aantrekking te berekenen, en in Laplace's „Mecanique céleste" wordt het zonnestelsel als een mechanisch stelsel beschouwd, geheel door de gravitatie beheerscht, waar de bewegingen van alle lichamen in de grootste volkomenheid uit de wet van Newton berekend worden. De wet van Newton als eerste voorbeeld van een volmaakte natuurwet had een beslissende invloed op de philosophie van Kant en bepaalde de leer van de strenge wetmatigheid van alle natuurgebeuren als grondslag van het denken van de 19de eeuw.

V.

De wereld der vaste sterren werd in al deze eeuwen als de rustende achtergrond beschouwd voor de bewegingen in het zonnestelsel en als zoodanig waargenomen. Eerst op het eind van de 18de eeuw begon Herschel de sterrenwereld als een voorwerp, dat eigen belangstelling verdiende, te onderzoeken; hij zocht dubbelsterren op en wees aan, hoe ook hier de algemeene gravitatie werkt, bestudeerde de nevelvlekken en sterrehoopen en bepaalde de vorm van het heelal als een plat systeem, in de richting van de melkweg het verst zich uitstrekkend. De 19de eeuw heeft daarop, met steeds nauwkeuriger meetinstrumenten toegerust, de vaste sterren nader in detail onderzocht. De bepaling van de afstanden van een paar dozijn naaste sterren toonde de reusachtige schaal, waarop deze wereld gebouwd is; geen ster is minder dan één stereenheid, 200000 maal de afstand van de zon, verwijderd. Honderdduizenden tot millioenen sterren werden gaandeweg gekarteerd, die de wereldruimte opvullen tot een afstand van een 1000-tal van deze eenheden. Dubbelsterren, in duizendtallen ontdekt, die sneller of langzamer om elkaar draaien, toonen dat alleenstaande sterren, zooals onze zon, niet het eenige type zijn. Nauwkeurige metingen van de plaatsen van duizenden sterren toonen, dat ze alle in beweging zijn en door de ruimte voortvliegen; een regelmatig rondloopen om een centrum als van de planeten om de zon, kon echter niet gevonden worden. Zoo werd het wereldbeeld buitengewoon veel wijder en reusachtiger; het geheele zonnestelsel is slechts een klein gebied rondom één toevallige ster, die in geen enkel opzicht een bijzondere plaats onder de tallooze andere sterren inneemt.

De ontwikkeling van physica en chemie in de 19de eeuw bracht nieuwe methoden, geschikt tot onderzoek van de natuurlijke gesteldheid der hemellichamen. De studie van de opper-

vlakte-gesteldheid van de maan en de planeten toonde, dat ze niet geheel met de aarde overeenstemmen, zoodat bewoonbaarheid slechts een tijdelijke faze in hun geschiedenis is. De spectraalanalyse maakte de studie van de zon mogelijk, de eenige vlakbij gelegen ster, waar de bekende aardsche stoffen zich als in een laboratorium van 6000° C. bevinden. Haar toepassing op de andere sterren toonde een reeks van typen, kenbaar aan kleur en gloeiingsgraad, die weldra als een reeks van ontwikkelingsvormen werden opgevat. Deze gegevens, verbonden met het vraagstuk van het behoud der zonnewarmte en met de physische leer van de energie en haar onvernietigbaarheid, leidden tot de moderne kosmogonie.

Kosmogonieën, als verklaringen van het ontstaan van de wereld, komen in de oudste sagen der volkeren, en daarna door alle eeuwen in de geschriften der philosophen voor. De eerste modern wetenschappelijke kosmogonie is in de 18de eeuw de nevelтheorie van Kant en Laplace, die de ordening van het zonnestelsel verklaart uit zijn ontstaan uit een platte draaiende oernevel, die zich samentrekt en condenseert. Haar karakter past in de denkwijze van die tijd, die ook op maatschappelijk gebied een ontwikkeling in het verleden door onvolkomen toestanden heen aanneemt tot een redelijke eindtoestand, die dan blijvend is. In de 19de eeuw groeit een andere opvatting; de studie van de stoommachine leidde tot het principe van Carnot, dat in de handen van Clausius de vorm aannam van de hoofdwet der mechanische warmtetheorie: alle van zelf plaatsvindende processen veranderen de wereld steeds in één bepaalde richting. Stof en energie zijn onvernietigbaar, ze wisselen steeds hun vormen; maar niet in een steeds zich herhalende kringloop, doch in één richting voortgaand. Het heelal wordt nu opgevat als een reusachtig ontwikkelingsproces, zonder begin of einde. Deze denkwijze van evolutie op elk gebied, ook in biologie (Darwin) en

philosophie (Hegel), is in de 19de eeuw niet toevallig; de snelle maatschappelijke omvormingen openden de gedachten der menschen voor de opvatting, dat alles in de wereld zich omvormt. Uit een uitgebreide nevel ontwikkelt zich een ster, doordat zij door uitstraling inkrimpt en heeter wordt, om daarna in sterk gecondenseerde toestand van haar hoogtepunt van hitte weer langzaam af te koelen. Door snelle rotatie kunnen daarbij dubbelsterren ontstaan; het afscheiden van planeten is alleen door toevallige storingen en onregelmatigheden in het normale proces te verklaren. De uitgestraalde hitte wordt waarschijnlijk in donkere nevels opgevangen en kan daar de stoot tot nieuwe stervormingen geven. Deze onderzoekingen geven geheel nieuwe gezichtspunten voor het vraagstuk van de bewoonbaarheid der hemellichamen door menschen.

De studie van de structuur van het heelal op de basis van de resultaten van de 19de eeuw toont een afgeplatte stermassa, die haar dichtste deel tot omstreeks 1000 stereenheden uitstrekt en daarbuiten ijler wordt. Kapteyn heeft een eerste poging gedaan om dit systeem met zijn sterbewegingen te begrijpen als een geheel, dat onder zijn eigen aantrekkingskrachten in evenwicht is. Over de oorsprong van deze structuur is nog niets bekend. Daarbuiten omheen groepeeren zich andere wolken van sterren, die zich aan ons als melkwegvlekken vertoonen. Nog verder verwijderd, tot op afstanden van 60.000 ster eenheden bevinden zich in een ledige ruimte de bolvormige sterhoopen uitgestrooid (Shapley). Het is mogelijk, dat de grenzen van het zichtbare heelal nog verder uitgezet moeten worden, daar voor sommige spiraalnevels afstanden tot 300.000 van deze eenheden vermoed worden.

MALARIA EN HARE BESTRIJDING VAN EEN WETENSCHAPPELIJK EN PRAKTISCH STANDPUNT BEZIEN.

DOOR DR. H. ALDERSHOF.

De toename der malaria in Noord-Holland — die nu gelukkig weer voor een sterke vermindering heeft plaats gemaakt — heeft sterk de aandacht getrokken en aan hen, die voor de Volksgezondheid hebben te zorgen, vele problemen voorgelegd. Alvorens deze nader te bespreken is een korte geschiedkundige beschouwing over de ziekte en over haar wezen noodig.

De malaria wordt veroorzaakt door een in de roode bloedcellen levend eencellig organisme, het door *Laveren* in Nov. 1880 in Algiers ontdekte plasmedium van de malaria, met verschillende ontwikkelingscyclus, waarnaar zich de koortsaanvallen in verschillend tempo voordoen — tertiana — quartana — quotitiana.

Hoe wordt de malaria van mensch op mensch overgebracht. Kunstmatig door bloedtransfusie, in de natuur door de mugsoort anopheles, zooals door *Ross* in 1895 werd aangetoond, nadat *Manson* de overbrenging van vogelmalaria door de mugsoort culex had aangetoond.

Nadere bijzonderheden omtrent de ontwikkeling der verschillende plasmodiën, alsmede omtrent het overbrengend insect kan ik U het best demonstreeren door wandplaten en lichtbeelden (volgt demonstratie).

De malaria is in de aan de Noordzee gelegen provinciën van Nederland een van oudsher inheemsche ziekte. Uit de benaming „anderdaagsche koorts" valt reeds af te leiden, dat het gewone type de tertiana is, al is misschien de quartana, die nu slechts zeer sporadisch voorkomt, niet ongewoon geweest.

Tegenwoordig is het vooral de provincie Noord-Holland, die door de ziekte lijdt, terwijl een kleine haard in het Noorden om den Dollart in de provincie Groningen, tegenover de Duitsche provincie Oost-Friesland, eveneens een malariagebied (bestrijding door *Mühlens*) en op het eiland Walcheren, prov. Zeeland, voorkomt.

In het voorkomen der malaria in de provincie Noord-Holland is een duidelijke periodiciteit waarneembaar; in de jaren 1875—1880 een sterke toename, terwijl van 1890—1896 de ziekte slechts weinig voorkwam. Omstreeks 1900 trad weer een stijging in, zoodat in 1902, in een deel van Noord-Holland, door geregeld bloedonderzoek (Schoo, Korteweg) een morbiditeit van 17% kon worden geconstateerd. Een onderzoek door den Centralen Gezondheidsraad over het jaar 1919 ingesteld, deed de morbiditeit stellen op een nog hooger procentgetal, dat echter niet was gebaseerd op bloedonderzoek. Het verkrijgen van een goed inzicht in de morbiditeit der malaria levert op onze breedte groote moeilijkheden. De sterfte-statistiek kan niet helpen, daar de Hollandsche malaria een zoo goedaardig karakter vertoont, dat sterfte aan malaria eigenlijk niet voorkomt. Ook het bepalen van den milt-index, in de tropen van groote waarde, bleek geen waarde te bezitten; hij is in Noord-Holland niet merkbaar hooger gevonden dan in de malaria-vrije streken van Nederland, hetgeen waarschijnlijk zijn verklaring moet vinden in het feit, dat de bevolking met de ziekte zeer vertrouwd is, en zich zelf met chinine behandelt, zoodat het tot een chronische malaria niet komt. Slechts een geregeld bloedonderzoek op groote schaal zou

een goed inzicht kunnen geven, wanneer dan ook nog het publiek kon worden gedwongen voor de malaria geregeld den medicus te consulteeren, hetgeen wegens de goedaardigheid en de alomverkrijgbaarheid van chinine niet geschiedt.

Waar de stijging in de laatste jaren aanmerkelijk bleek is de strijd tegen de malaria in de provincie Noord-Holland aangebonden. Deze provincie is zoover ze ligt benoorden het IJ, het malariagebied bij uitstek, ruim 2000 K.M.^{2} groot, terwijl de bevolking van dat deel met Amsterdam ruim een millioen bedraagt. Voor hen, die de geaardheid van het lage polderland met zijn groot wateroppervlak kennen, moet het een welhaast onbegonnen strijd schijnen, vooral wanneer men zich op het door de meeste malarialogen ingenomen standpunt plaatst, dat malariabestrijding slechts dan resultaat beleeft, als alle bestrijdingsmaatregelen naast elkaar kunnen worden toegepast. En dit laatste is, gezien de bijzondere omstandigheden, waardoor de geheele provincie één groote broedplaats vormt, wel onmogelijk te achten.

Welke bestrijdingsmaatregelen zijn in Noord-Holland praktisch uitvoerbaar?

Bij de beantwoording dezer vraag waren we ons bewust, dat de rijke malarialiteratuur vrijwel uitsluitend betrekking heeft op ervaringen in tropische en subtropische landen en dat een stelselmatige bestrijding van malaria op de breedte waarop Holland ligt nog slechts zelden (Emden, Wilhelmshafen) had plaats gehad. Een wetenschappelijk onderzoek zoowel naar de malaria zelf als naar de biologie der anopheles in Holland moest dus aan de praktische bestrijdingsmaatregel worden toegevoegd, waartoe een bijzondere commissie, waarin malarialogen van naam als *Korteweg, Schee, Swellengrebelen* een man als *Dr. Jac. P. Thijsse*, hare krachtige

medewerking verleende, en waardoor de gestelde vraag op wetenschappelijke wijze kon worden beantwoord.

De beginselen, waarop de malariabestrijding in het algemeen berust, zijn:

I. Het dooden of onschadelijk maken van het plasmodium in den mensch door stelselmatige chininebehandeling.

II. Het behoeden van den mensch tegen de besmettende steek der mug door gaasbescherming.

III. Het verdelgen der muggenlarven in het water door algemeene assaieering en opruimen van broedplaatsen.

IV. het verdelgen van het volwassen insect.

Ad. I. Waar de Hollandsche malaria een goedaardig karakter bezit en de bevolking met de ziekte zeer vertrouwd is en chinine voor matigen prijs ruimschoots verkrijgbaar, is praktisch gesproken de chininisatie zeer voldoende al is het gebruik zeker niet stelselmatig te nemen. Evenwel zou een gedwongen chininisatie, gezien het bovenstaande en den aard der bevolking, op groote moeilijkheden stuiten en zijn bovendien de elders daarmede in vrije gemeenschappen verkregen resultaten niet van dien aard, dat het ons doelmatiger voorkwam ze toe te passen. Bovendien hebben onderzoekingen van een onzer *(Korteweg)*, voortgezet in een 40-jarige praktijk, aangetoond, dat het prophylactisch en ook recidief voorkomend nut van chinine niet die waarde heeft als er elders aan is toegeschreven. Van een stelselmatig doorgevoerde chininisatie der bevolking is dan ook afgezien, terwijl echter wel maatregelen zijn genomen om chinine tegen verminderden prijs beschikbaar te stellen.

Ad. II. De bescherming der woningen door gaas is een zeer dure en in de praktijk, althans voor niet ontwikkelde en zorgzame personen, een zeer bezwaarlijke en onbetrouw-

bare methode. Niet alleen het aanbrengen van een goede gaasprotectie van een huis, maar ook het onderhoud vraagt groote finantiëele offers, welke niet ter beschikking stonden.

Waar verreweg de meeste besmettingen tijdens den nacht tot stand komen zal het uitsluitend van gaas voorzien van slaapkamers in verhouding der kosten en moeiten een goed rendement afwerpen en werd dan ook dit zooveel mogelijk bevorderd. Door het aanbrengen van gaas op de kozijnen voor een gedeelte van het venster, dat openklapbaar is (niet op losse horren, die altijd naden overlaten, die de muggen spoedig weten te vinden) en door het sluiten van alle andere vensters der slaapkamers bij het invallen der schemering kan het binnendringen van anopholinen in de kamers worden voorkomen. Mocht een enkele zijn binnengekomen, dan is wegvangen, bijv. met een glas op stek met petroleum, zeer eenvoudig. Het U hier aangeboden vlugschrift verduidelijkt het gezegde. Deze gaasbescherming is voor Holland voldoende en heeft het groote voordeel, dat ze praktisch uitvoerbaar is en bij eenige oplettendheid een zekere waarborg geeft.

Ad. III. Het verdelgen van larven in het water, het opruimen van broedplaatsen vormt een zeer intergreerend deel in den strijd tegen de malaria. Voor den strijd in Noord-Holland vormt dit dan ook een zeer moeilijk punt.

Het „Ultimum posse neme tenetur" zal voor ieder, die weet dat Noord-Holland een groote broedplaats is, in dezen tot zijn recht moet komen. Een groot deel van de provincie is wateroppervlak, welk water als drenkplaats voor dieren, als verkeersmiddel, als afvoersysteem van het polderwater naar de zee onmisbaar is. Aan demping op een ietwat ruime schaal kan dan niet worden gedacht, terwijl ook het aanwenden van larvicide middelen niet dan onder hevigen tegenstand der bevolking zijn door te voeren, tenzij ons een larvicied middel ter beschikking stond dat voor het vee geen bezwaren

oplevert. Proeven zijn in die richting voortdurend genomen en deze hebben geleerd dat paraffinum liquidum in dezen ons van nut kunnen zijn. Om Amsterdam in 1922 een water-oppervlakte van 1,2 millioen M².; om Hoorn en Alkmaar in 1913 een gordel van 1,5 K.M. breedte. 3—4 L. per 1000 M². is voldoende.

Een ander in de tropen meermalen toegepast middel, n.l. bevrijden van de wateren van plantengroei is ook praktisch vrijwel onuitvoerbaar gebleken, terwijl bovendien proeven op kleinere schaal genomen ons hebben geleerd, dat het daarvan te verwachten resultaat volstrekt nog niet zoo zeker is.

Een andere juist tegenovergestelde methode om door het bevorderen van de drijvende plantengroei een afsluitend dek over het water te verkrijgen, zooals ze is toegepast in Spanje (*Dr. Sella*, Bulletin de la L. de Soc. d. l. C. R. Mars-Avril 1921), leek ons niet de ware daar ze veel te veel bezwaren voor vee en scheepvaart zou meebrengen.

Ad. IV. Het verdelgen der volwassen insecten bleef ons dus als voor directe toepassing meest geschikt middel over en wij zijn den strijd begonnen in de meening, dat, wanneer het ons mocht gelukken op deze wijze een vermindering van de anophelesdichtheid te verkrijgen, daarmede een vermindering van de malaria zou parallel gaan. Onderzoekingen omtrent het voorkomen van malaria in verband met de anophelesdichtheid aldaar, slechts oppervlakkig ingesteld, hebben bij ons de overtuiging doen postvatten, dat de anophelesdichtheid hier wel de beslissende factor zal zijn. Deze dichtheid schijnt in overig Nederland, uitgezonderd de bovengenoemde haarden, een te geringe te zijn om autochtene gevallen daar te doen ontstaan, de kans van overbrengen door de schaars aanwezige anopheles is te gering. Ervaringen opgedaan in de oorlogsjaren met het verplaatsen van groote troependeelen van uit Noord-Holland naar malariavrije pro-

vincies, wijzen eveneens in die richting. Hoewel onder die troepen vele malarialijders voorkwamen heeft de malaria in die provincies geen vasten voet gekregen.

Ook in andere provincies voorkomende gevallen van malaria stammen voor een overwegend deel uit Noord-Holland, de groote malariabron. Zij, die meenen, dat een zoo eenzijdige bestrijding wel geen effect zal kunnen hebben, vergeten, dat het dooden van een groot aantal volwassen insecten, dat in de tropen en subtropen een welhaast onbegonnen werk is, op de breedte waarop Holland ligt een veel beter resultaat geeft, daar de anopheles hier een goede winterslaap vertoont, zoodat de bevruchte wijfjes, — de mannetjes sterven in October — in Holland van November tot Maart stil in hare winterkwartieren zitten en daar gemakkelijk te dooden zijn. Op deze winterslaap nu is de verdedigingscampagne gebaseerd.

Allereerst diende nauwkeurig te worden nagegaan, waar de anopheles overwintert. Waar de anopheles, in tegenstelling met de culex op onze breedte een niet zoo diepe winterslaap heeft, dat ze niet op een zachte winterdag eens wakker zou worden en dan blijkbaar behoefte heeft aan bloed, is het ons gebleken, dat ze daar overwintert, waar kans bestaat aan dien drang naar bloed te voldoen, dus in stallen en hokken, waar dieren verblijven of in de nabijheid van den mensch en dan liefst in de buurt der slaapvertrekken. Dat deze neiging der anopheles berust op de behoefte aan bloed tijdens het ontwaken uit den winterslaap blijkt uit de ervaringen in Denemarken opgedaan, waar de anopheles des winters wordt gevonden op plaatsen, waar geen gelegenheid tot bloedzuigen bestaat. De slaap des anopheles is blijkbaar op die hoogere breedte even diep als die van de culex bij ons. Muggen gevonden in kelders of onder vloeren, enz., hebben bij onze wintercampagne geen waarde, het zijn uitsluitend culices.

Daarmede was de organisatie der winterveldtocht tegen de

anopheles gegeven. Ze moest worden verdelgd, vooral in de stallen en hokken, waar ze in overgroote meerderheid overwintert, terwijl tevens eenige aandacht moest worden geschonken aan de nabijheid der slaapkamers.

Voor Holland hebben de stallen als overwinteringsplaats de volgende volgorde:

I. varkenshokken;
II. paardestallen;
III. koestallen;

terwijl ook konijnen, geiten, schapen en gevogelte aantrekking op de anopheles uitoefenen, maar daar hunne hokken meestal erg koud zijn, komen er in den winter niet veel muggen in voor.

Het gehalte aan anopheles van koestallen wordt naar onze ervaringen grootendeels bepaald door de vochtigheid dier stallen. Is die van dien aard, dat condensatiewater aan de zolder hangt, dan is het aantal anopheles zeer gering, ze schuwt vocht. Dat bijv. in Würtemberg juist weer de koestallen de winterkwartieren der anopheles vormen, kan aan een betere, althans droogere inrichting der stallen worden toegeschreven. Ook in Spanje worden de koestallen goed bezet gevonden.

Zoo werd dan 1 November 1920 de eerste en 1 November 1921 de tweede winterveldtocht tegen de anophelenen in Noord-Holland begonnen.

De strijdmiddelen zijn:

I. de electrische stofzuiger, waarmee de aan de zolder en wanden zittende anophelenen worden weggezogen; eenige tienduizendtallen en meer in één stal is geen uitzondering; voor groote effen wandvlakken bewijst deze methode goede diensten;

II. besproeien met 3 % oplossing van lysol, waartoe de muggenverdelgers met groote spray's zijn gewapend, die ze

op den rug dragen, terwijl lange slangen daaraan het mogelijk maken alle hoeken der stallen ook boven het vee te bereiken. De ervaring heeft geleerd, dat, wil men goed succes hebben, d. w. z. de muggen, die door de vochtdruppels werden getroffen ook werkelijk dooden, een oplossing zwakker dan 3 % niet bruikbaar is: bovendien doet deze oplossing geen schade aan de dieren, mits men er voor zorgt, dat in de stal aanwezige voedermiddelen worden afgedekt, opdat ze niet met lysol bevochtigd worden.

Deze methode is overal toepasselijk.

III. bedwelming door petroleum, waarvoor de muggenverdelgers zijn voorzien van platte blikken bakken, ongeveer 5 c.M. diep waarin gaas gedrenkt met petroleum, bevestigd op stokken. Deze bakken worden gehouden onder de zolder waaraan muggen hangen, die dan bedwelmd in de petroleumbakken neervallen. Door de bakken van verschillende diameter te nemen is deze methode geschikt voor oneffen zolders en bij verspreid zitten der muggen. Zoo ook in woonhuizen en in de slaapkamers, waartoe een drinkglas waarin gaas met petroleum op een stok bevestigd zeer geschikt is.

Zooals boven reeds werd opgemerkt is voor de provincie Noord-Holland de malaria bestrijding voorloopig beperkt tot deze verdelging van de volwassen insecten.

Voor de stad Amsterdam daarentegen, die als alle groote steden in het centrum malaria vrij is, maar haar omtrek van de ziekte heeft te lijden vinden meer uitgebreide maatregelen reeds geheel of gedeeltelijk toepassing. Assaineering van laag gelegen stadsgedeelten aan den omtrek, dempen van nutteloze waterverzamelingen, in den laatsten tijd paraffineeren van vijvers, enz. het wegvangen der muggen in de stallen en gedeeltelijk ook in de huizen van malarialijders, gaasbescherming van slaapkamers en het oprichten van malariastations van waaruit de strijd tegen de malaria wordt ge-

organiseerd, en waar na bloedonderzoek de behandeling kan geschieden, al deze maatregelen worden overwogen en reeds gedeeltelijk toegepast.

Omtrent de tot dusver bestaan hebbende organisatie van de muggenverdelging in de provincie zij nog het volgende meegedeeld.

De provincie was verdeeld in 24 districten, waarvan elk 3 à 4 gemeenten omvatte, aan het hoofd van elk district stond een der burgemeesters van de gemeenten, wien een muggenverdelgersploeg ter beschikking stond. Deze 4 ploegen waren in de campagne Nov. '20 tot '21 elk 4 tot 6 man sterk; later is hun aantal op 2 tot 3 verminderd maar werkten nu ieder apart, terwijl hulp zoo noodig door de bewoners moest worden verleend waardoor tevens opvoedend werd gewerkt, daar het in de bedoeling ligt in de toekomst de ontmugging door de bevolking zelf te doen geschieden en daaromtrent van overheidswege zoo mogelijk bindende bepalingen te maken.

Het is gebleken, dat bij de bestaande regeling ieder hek en stal in de provincie tijdens den winter 3 maal werd ontmugd, waarbij menige stal zich als een goede anophelesval liet kennen. Bij de derde rondgang bleek in het algemeen het nog aanwezige aantal muggen een gering te zijn.

Waar de stallen aangebouwd zijn aan de woonhuizen verkeert het vee dus zeer in de nabijheid der menschen althans in den winter, in welken tijd dit echter voor de besmetting geen rol speelt. Des zomers is het groote vee in de wei en komt 's nachts niet naar de stallen. Omtrent het door *Roubaud* voor Noord-Frankrijk aangegeven parallelisme tusschen veestand en malaria is tot dusver, hoewel daarop wel de aandacht gevestigd is gehouden, voor Holland nog niets gebleken.

Verder is de vraag van belang of het ook geen aanbe-

veling zou verdienen in den zomer de anopheles te doen wegvangen in de huizen, waarin gevallen van malaria zijn voorgekomen. Evenwel maakt de groote bewegelijkheid der anophelenen gedurende den zomer het resultaat daarvan vrijwel illusoir: in den zomer toch treft men onder de in de huizen gevangen anophelenen praktisch gesproken niet een aan die besmet is. In den herfst, September, December vond *Swellengrebel* een aanmerkelijk aantal der in de malariahuizen gevangen anophelenen besmet doordat ze minder bewegelijk zijn, reeds in een begin van winterslaap. In die maanden zal dus het vangen in de huizen nut hebben en vele najaarsbesmettingen, die weer het aanzijn geven aan vele gevallen in het volgend voorjaar, kunnen voorkomen.

De Hollandsche malaria vertoont twee toppen, een voorjaarstop en een zomertop, de eerste berust op besmetting in het vorige najaar, welke besmetting den winter latent is gebleven, zooals uit onderzoekingen duidelijk is gebleken. Gevallen toch van primaire malaria in het voorjaar waargenomen bij personen in malariavrije gedeelten van ons land, kwamen slechts voor bij personen die het vorig najaar en daarna niet meer in Noord-Holland hadden vertoefd. Dit was hun eenige besmettingskans geweest en de ziekte was tot het voorjaar latent gebleken. De door *R. Koch* gegeven verklaring van besmetting door tijdens den winter door de kachelwarmte wakker geworden muggen, die toch al niet voldeed wegens het niet met zekerheid kunnen aantoonen van besmette exemplaren onder de overwinterende muggen, is hiermede wel van de baan.

Omtrent verdere wetenschappelijke resultaten der onderzoekingen mededeelingen te doen, zou te veel tijd kosten. Zooals reeds vroeger uit de onderzoekingen van *Korteweg* is gebleken, zij hier opgemerkt, dat omtrent de waarde van de chinine, zoowel als prophylacticum als voor recidiefwerend

gebruik en omtrent de beteekenis der gemeten voor het ontstaan der recidieven, zich gezichtspunten hebben voorgedaan, die niet aanmerkelijk afwijken van de tot dusver gangbare.

Van een praktisch standpunt bezien, was zeker de vraag zeer belangwekkend of een malariabestrijding op een zóó uitgebreid, bijzonder waterrijk gebied met een zóó dichte bevolking en hooge muggendichtheid en dan nog wel op een zóó eenzijdige wijze gevoerd succes zou kunnen hebben.

Het valt niet te ontkennen, dat voor een zekere scepsis hier alle ruimte was. En wat leeren de verkregen resultaten? Deze leeren dat de malaria aanmerkelijk is afgenomen en dit jaar 1923 zelfs in het bijzonder. Hebben hier andere oorzaken, voor ons onnaspeurlijk, een rol gespeeld? Genius epidemicus? Wij weten het niet, maar te denken geeft het feit, dat in Noord-Holland benoorden het IJ en op Walcheren, waar een krachtige campagne is gevoerd, de vermindering sterk spreekt, terwijl in de aan het bestrijdingsgebied grenzende streken de malaria niet is afgenomen, integendeel toegenomen. Is daar de geniusepidemie een andere of zijn onze maatregelen de oorzaak? Zoo ja, dan is het dubbel jammer dat de slechte toestand van 's Rijks schatkist de georganiseerde bestrijding doet ophouden. Moge plaatselijke overheid en particulier initiatief de zaak ter hand nemen; de weg is door ons aangewezen, en wij staan steeds tot hulp en voorlichting gereed.

TELEFONIE OVER GROOTE AFSTANDEN.

DOOR IR. A. E. R. COLLETTE.

Wij weten allen wat een „telefoon" is, en hoe men van dit toestel gebruik maakt om met verwijderde personen te spreken. Onder „telefoon" is dan echter eigenlijk een complex van verschillende apparaten, inrichtingen en stroomschakelingen te verstaan, welke zeer ingewikkeld is, hoe schijnbaar eenvoudig de handeling van het telefoneeren ook moge zijn.

Om onze gedachten te concentreeren, neem ik aan, dat men zoowel bij het spreken als bij het ontvangen enkel gebruik maakt van een telefoon in de engere beteekenis van het woord. Deze bestaat, zooals U bekend is, in haar meest eenvoudigen vorm uit een magneet om welks eene pool een geïsoleerd koperdraadje in vele slagen, bij wijze van een draadklosje is gewonden, waarvan de uiteinden met de lijndraden naar de overeenkomende omwindingen van de verwijderde telefoon zijn verbonden. Magneet met draadomwindingen heet electro-magneet. Tegenover de pool van dezen electro-magneet is een ijzeren plaatje, een menbraan geplaatst, dat onder invloed van de menschelijke stem, om ons hiertoe te bepalen, in trilling geraakt en zoodoende de magneetkracht van den toestel wijzigt; deze wijzigingen wekken op hare beurt onduleerende electrische stroomen op in de draadomwindingen, welke zich in de lijndraden voortplantende de omwindingen van het draadklosje van de verwijderde telefoon doorloopen en daarbij wijzigingen in de magneetkracht van haar electro-magneet veroorzaken; het membraan

van deze telefoon komt daarbij in een trillenden toestand, welke overeenstemt met de trillingen van de gevende telefoon.

Wat is nu eigenlijk gebeurd? De bij het spreken opgewekte mechanische trilling van de lucht is via de telefooninstallatie overgebracht naar eene verwijderde plaats waar zij het oor van den correspondent bereikt. Men heeft hier dus te doen met eene overbrenging van energie.

Eene telefoonlijn is dan ook in het wezen der zaak niet anders dan eene transmissie-lijn.

Hierop eenigszins dieper in te gaan, heb ik mij voorgesteld heden avond te doen, waarbij dus buiten beschouwing blijven al de verdere toestellen, inclusief microfoon, welke voor eene goede, aan handelsdoeleinden beantwoordende telefoongemeenschap worden gevorderd.

Bij elke overbrenging van kracht, van energie, heeft verlies plaats, waarvan de grootte door verschillende factoren wordt bepaald. Wanneer wij spreken wordt ons geluid door de lucht voortgeplant met afnemende intensiteit en geluidzuiverheid, afhankelijk van den afstand en den toestand waarin de lucht, de atmosfeer zich bevindt. Invloeden van buitenaf, zooals wind, terugkaatsing (resoneeren) buiten aanmerking latende. Zoo ook worden de telefoonstroompjes in de lijndraden verzwakt en vervormd of, zooals de meer gebruikelijke term luidt, *gedempt*. De maat der demping is tevens de maat voor de meer of mindere duidelijkheid van de overkomst van het gesprokene.

Onder *demping* is dan niet alleen te verstaan de verzwakking, de afname in *intensiteit*, welke de stroompjes op hun reis door den geleiddraad ondergaan, maar tevens de *vervorming* van het geluid als gevolg van de omstandigheid dat hooge tonen en lage tonen, dus hoogere en lagere frequentiestroomen niet aan dezelfde verliezen onderhevig zijn.

Als eerste eisch van eene deugdelijke telefoon*gemeenschap* geldt aldus dat de lijndraden aan bepaalde voorwaarden voldoen. Is dit niet het geval, dan helpt het niet of men voor de spreek- en ontvanginrichting ook nog zoo vernuftige constructies kiest.

Bij de telegrafie ondergaan de seinstroompjes, welke in de lijn worden gezonden, uiteraard eveneens verzwakking en vervorming. Deze zijn evenwel niet zoo markant als bij de telefonie.

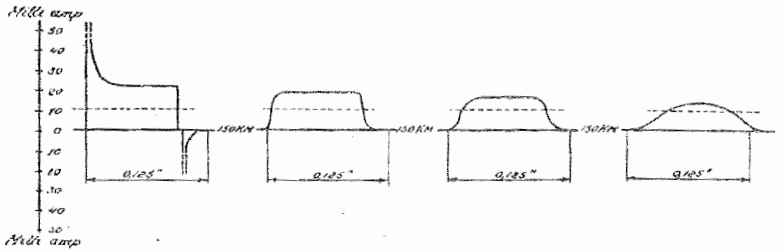


Fig. 1.

Fig. 1 laat de vormverandering zien van het telegraafteeken na telkens 150 K.M. geleiding doorloopen te hebben. De stroomsterkte is op de ordinaten-as, de tijd de op absissen-as afgezet. Het eerst afgebeelde teeken stelt het verloop van den stroom in het seinende kantoor voor wanneer de batterij door het neerdrukken van den seinsleutel aan de geleiding wordt aangesloten, waarbij deze als enkeldraad met aarde als teruggeleider is gedacht. In het eerste oogenblik ziet men den stroom sterk stijgen, dit is de ladingstroom, veroorzaakt door de capaciteit der geleiding, en slechts begrensd door hare zelfinductie en den batterijweerstand. Daarop valt de stroomsterkte spoedig af tot de waarde door de wet van *Ohm*, n.l. stroomsterkte $= \frac{\text{stroomspanning}}{\text{weerstand}}$, bepaalt. Deze waarde be-

houdt zij tot aan het einde van de stroomzending, dus zoolang de seinsleutel neergedrukt wordt gehouden, om daarna snel af te nemen. De daarop volgende drie voorstellingen geven het stroombeeld van hetzelfde teeken, nadat dit afstanden van 150 K.M. in de lijn heeft doorloopen.

Zooals daaruit blijkt, komt, hoe langer de geleiding is, ook eene steeds geringere hoeveelheid electriciteit in het ontvangende kantoor aan. Maar nog veel belangrijker voor het telegraafbedrijf is, dat ook de vorm van de stroomzending, de kop en het einde, verandering ondergaat.

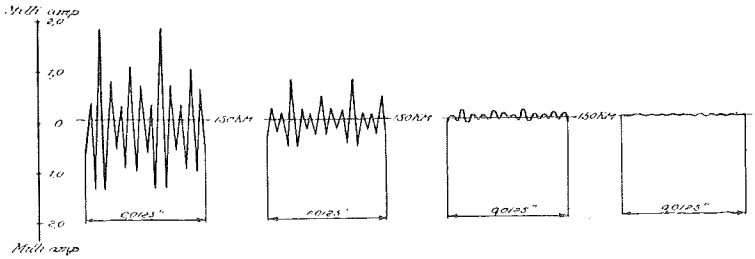


Fig. 2.

In Fig. 2 zijn de stroompjes voorgesteld, zooals deze bij het telefoneeren worden opgewekt wanneer men den klinker A uitspreekt, en wel zooals deze de lijn opgaan en het correspondeerende station bereiken na 150, respectievelijk 2×150 en 3×150 K.M. geleiding doorloopen te hebben.

Bij vergelijking dezer spreekstroomen met de telegraafteekens valt direct op, dat men hier met veel kleinere hoeveelheden energie te doen heeft. Ten einde het stroombeeld juist te kunnen weergeven, moest alreeds eene 20-maal grootere schaal worden gekozen.

De voorgestelde klank bestaat in hoofdzaak uit een grondtoon van 160 trillingen per secunde, waarbij 3 boventrillingen komen van 320, 640 en 960 trillingen per secunde, welke in

hunne samenwerking het voorgestelde beeld geven. De fijne boventrillingen tot 2000 en 3000 trillingen per secunde, welke den klinker begeleiden, en het timbre van den spreker kenmerken, zijn hier buiten beschouwing gelaten, hoewel zij bij het telefoneeren niettemin eene belangrijke rol vervullen, ongeacht hare kleinheid.

Noemt men S^I den begin- en S^{II} den eindstroom in eene telefoonverbinding, waarvan l de lengte in K.M. voorstelt, dan bestaat bij niet te korte geleidingen tusschen S^I en S^{II} de betrekking:

$$S^{II} = S^I . e^{-\beta l}$$

waarin e het grondtal van het Neperiaansche logarithmenstelsel is en β de soortgelijke demping der telefoonlijn aanduidt, dat is de demping per K.M. De totale demping der lijn wordt dan voorgesteld door βl.

De verschillende factoren, welke de demping bepalen, kunnen in eene wiskundige formule worden samengevat, welke luidt:

$$\beta = [\tfrac{1}{2} \{(R^2 + \omega^2 L^2)\ (G^2 + \omega^2 C^2)\}^{1/2} + G R - \omega^2 C L]^{\frac{1}{2}}$$

Hieruit blijkt dat de demping afhankelijk is van den electrischen weerstand R van den lijndraad, diens zelfinductie L, capaciteit of electrisch bevattingsvermogen C, en afleiding of diëlectrisch verlies G, alsmede van de *pulsatie* ω (stroomwisseling per secunde) van den stroom als gevolg van de luchttrillingen, welke bij het spreken worden medegedeeld aan het trilplaatje van de telefoon. Bedragen deze luchttrillingen of frequenties, voorgesteld door f, bijv. 1000 in de secunde, dan is de waarde van $\omega = 2\pi f$ of $2 \times 3.14 \times 1000 = 6280.—$. De waarde van ω wijzigt zich naar gelang van de uitgesproken letters of klanken, en is verder ook afhankelijk van de toonhoogte van het gesprokene. Hierin

is de reden gelegen, dat de stemmen van verschillende personen niet altijd even duidelijk overkomen. De waarde van ω wisselt tusschen 1000 en 15000. Als waarde, welken het belangrijkste is voor de verstaanbaarheid van het gesprokene, wordt aangenomen $\omega = 5000$.

De weerstand R is afhankelijk van de doorsnede der lijndraden. Hij neemt af met het toenemen dezer doorsnede, en bijgevolg met het gewicht van het verwerkte draad, hetgeen eene vermeerdering van constructie-kosten beteekent, welke beduidend is vermits om technische redenen, welke hier stilzwijgend moeten worden voorbij gegaan, voor deze draden uitsluitend koper kan worden gebezigd.

De afleiding (diëlectrische verliezen) G is afhankelijk van het isolatie-materieel, met name bij bovengrondsche lijnen van de lucht en de porceleinen isolatoren, en bij kabels van de electrisch isoleerende stof, welke de koperdraden over hunne geheele lengte omgeeft. Deze afleiding kan evenwel niet beneden een bepaald minimum worden teruggebracht.

Dit laatste is evenmin het geval met de capaciteit C. Zij neemt toe met den omtrek, dus met de dikte van den geleiddraad. En waar men van de eene zijde gehouden is om deze dikte, met het oog op eene weerstandsvermindering zoo groot mogelijk te nemen, wordt juist dientengevolge de capaciteit grooter. Tusschen deze beide conditiën moet mitsdien een middenweg gezocht worden.

Vooral bij kabels speelt de capaciteit eene belangrijke rol.

Er rest ons nu nog de zelfinductie L in beschouwing te nemen.

In herinnering worde gebracht, dat onder zelfinductie wordt verstaan de electrische stroom, welke in den geleiddraad zelf wordt opgewekt bij het ontstaan en bij het ophouden van den stroom. Bij het ontstaan van den stroom werkt de zelfinductie het aangroeien van dezen tegen, terwijl zij bij het ophouden van den stroom dezen nog eenigen tijd doet

voortbestaan. De stroom van de zelfinductie is bij het ontstaan van den hoofdstroom in de geleiding aan dezen tegengesteld, terwijl hij bij het ophouden van den hoofdstroom eene zelfde richting als deze heeft.

Door verwaarloozingen van ondergeschikte grootheden, kan aan de formule β een meer overzichtelijke vorm worden gegeven, n.l.:

$$\beta = \frac{R}{2}\sqrt{\frac{C}{L}} + \frac{G}{2}\sqrt{\frac{L}{C}}$$

Zijn nu de waarden voor R, G en C zoo doelmatig mogelijk gekozen, ook in verband met eene economische constructie van de lijn, dan kan uit deze formule worden afgeleid welke waarde aan L moet worden toegekend om β zoo klein mogelijk te houden.

Men vindt dan dat L gelijk moet zijn aan $\frac{RC}{G}$.

De minimum soortgelijke demping wordt dan β min. $= \sqrt{GR}$.

De zelfinductie van een enkelvoudigen geleiddraad blijft echter steeds beneden deze waarde, zoodat hetgeen daaraan ontbreekt kunstmatig aan dezen moet worden toegevoegd.

Hiertoe kunnen twee middelen worden toegepast. Het eerste bestaat in het omwikkelen van de geleiders met één of meer lagen nauwsluitende spiralen van (0.15 à 0.2 m.M.) week ijzerdraad. Een denkbeeld, dat uit de Nederlandsche Administratie origineert, doch later door den Deenschen Ingenieur *Krarup* is uitgewerkt en sedert dien naar hem genoemd wordt. Door deze omwinding wordt evenwel de capaciteit vermeerderd; en daar het doel der omwinding juist is de zelfinductie ten opzichte van de capaciteit te vergrooten, is het gemakkelijk te begrijpen dat de verhooging van de capaciteit de gunstige uitwerking van de vermeerdering der zelfinductie gedeeltelijk weer te niet doen.

Verder heeft de ijzerdraadomwinding ten gevolge, dat de geleidingsweerstand grooter wordt door Foncaultsche stroomen en hysteresis-verliezen.

Aan de toepassing van het systeem Krarup wordt door deze werkingen eene grens gesteld, boven welke het resultaat nadeelig in plaats van voordeelig is, terwijl bij deze grens de minimum-demping, welke theoretisch te verkrijgen is, nog lang niet wordt bereikt. Uitteraard kan dit systeem bovendien alleen bij kabels worden gebruikt.

Nochtans kan het zeer goede diensten bewijzen.

Het tweede middel bestaat hierin dat op bepaalde afstanden, puntsgewijze, zelfinductie-spoelen in de geleiders worden geschakeld.

Deze spoelen, naar den uitvinder Pupinsche spoelen genoemd, bestaan uit een ijzeren ring (hetzij massief of uit fijne staalkorrels samengeperst, dan wel uit dunne ijzerdraden vervaardigd) waaromheen twee gelijke, geïsoleerde dunne draden van koper zijn gewonden. In elk van de geleiddraden van eene dubbeldraads telefoonverbinding (voor eene telefoonverbinding worden n.l. steeds twee geleiddraden, eene heen- en eene teruggaande geleiding gebezigd) wordt een dezer omwindingen opgenomen. Op deze wijze is het mogelijk om over bovengrondsche luchtgeleidingen met 3 m.M. dikke koperdraden te spreken tot op afstanden van 1000 K.M. Zonder pupiniseering zijn voor zulk eene telefoonlijn draden van 5 m.M. dikte noodig, waarmede eene economische grens is bereikt, zoo niet reeds overschreden zou zijn.

Bij gebruik van ondergrondsche geleidingen, kabels, is het zelfs bij pupiniseering, veel bezwaarlijker zulke groote afstanden telefonisch te overbruggen. In de eerste plaats kunnen daarbij alleen dunne geleiddraden toepassing vinden, althans veel dunnere dan bij luchtlijnen, waardoor de electrische weerstand R eene betrekkelijk groote waarde verkrijgt, terwijl de

capaciteit C der in een kabel verwerkte geleiddraden hoog is, doordien zij over hunne geheele lengte door eene isoleerende materie omgeven zijn, welke eene veel grootere diëlectrische constante heeft dan de lucht, inclusief de porceleinen isolatoren, welke de isolatie voor de bovengrondsche geleidingen vormt.

Daarentegen kan de afleiding G bij kabels kleiner zijn dan bij luchtgeleidingen; edoch hierdoor worden de toename van R en C niet gecompenseerd.

Als isolatie-materiaal voor telefoongeleidingen in land- en rivierkabels komen in aanmerking vezelstof en papier, waarbij dan veelal eene werkwijze wordt toegepast, waardoor tusschen den draad en het papier eene luchtlaag blijft uitgespaard. Draden en isolatie behooren verder in een waterdichten mantel, een looden buis, te worden opgesloten om het geheel tegen vocht te beschermen, vermits anders de directe verliezen door afleiding naar den grond den kabel onbruikbaar zouden maken.

Voor zeekabels is uit een constructief en gebruiksoogpunt de voorkeur te geven aan gutta-percha, hetgeen evenwel gepaard gaat met het invoeren van eene groote waarde voor de capaciteit C, waardoor de demping β onevenredig toeneemt. Dit is een van de hoofdredenen geweest waarom de telefonie over zeekabels langen tijd tot de vrome wenschen is blijven behooren. Eene groote verbetering is hierin in de latere jaren verkregen door in plaats van gutta-percha te gebruiken balata. Dit wordt verkregen uit het melksap van mimusop-planten, welke evenals de gutta-percha-planten tot de familie der sapotaceën behooren. De mimusop-planten groeien in het tropische Zuiden van Amerika (Guyana, Venezuela, Noord-Brazilië). Balata wordt kneedbaar bij 50^0 C en smelt bij 150^0 C. Het laat zich lastiger tot een goed sluitend geheel verwerken dan gutta-percha, en scheurt gemakkelijker dan dit bij buigen.

Aanvankelijk werd de balata alleen voor drijfriemen en transmissiebanden toegepast.

In het algemeen zijn de mechanische eigenschappen van gutta-percha als electrisch isolatie-middel beter dan die van balata. De electrische eigenschappen van het balata zijn echter voor een telefoonkabel gunstiger dan die van gutta-percha.

Balata werd het eerst toegepast in 1911 bij den kabel tusschen België en Engeland van St.-Margareta tot La Panne, ter lengte van 88.5 K.M., en nu onlangs, in 1922, bij den Nederlandsch-Engelschen telefoonkabel, tusschen Aldeburgt en Domburg, ter lengte van 154 K.M.

Niet onvermeld moge blijven dat men zeer onlangs er toe is overgegaan om ook voor zeekabels de isolatie-methode van land- en rivierkabels toe te passen.

Proefondervindelijk is vastgesteld, dat de verstaanbaarheid bij verschillende waarden van de totale demping eener lijn, dat is de som van de dempingen in hare verschillende onderdeelen, luchtlijnen en kabels samengesteld, kan worden omschreven aldus:

$\beta l = 3$ . . goede verstaanbaarheid.
$\beta l = 3.5$ . . voldoende verstaanbaarheid.
$\beta l = 4.5$ . . grens van gemakkelijke verstaanbaarheid.
$\beta l = 5$ . . moeilijke verstaanbaarheid.

Bij afnemende waarde van βl, dus beneden 3, neemt de verstaanbaarheid toe.

Het is evenwel niet voldoende dat eene telefoonlijn geschikt is voor het telefoneeren van het eene uiteinde tot het andere. Dit moet ook nog kunnen indien de beide uiteinden tot in de centraaltelefoonbureelen met hunne geabonneerden verlengd zijn. Met andere woorden, de geabonneerden moeten van hunne woningen uit kunnen spreken. Vermits nu voor de demping in een goed gebouwd telefoonnet met al zijne

onderdeelen (centraalbureel + aansluitingen) eene demping = 1 mag aangenomen worden, hetgeen voor de beide betrokken netten eene demping van 2 geeft, mag de verbindingslijn tusschen die netten geen grootere demping hebben dan 1.5. Zoodra deze grens wordt bereikt, is het noodzakelijk *overdragers* in de geleiddraden te schakelen, welke de ter plaatse aankomende verzwakte spreekstroomen opnemen, en, na eene versterkte omzetting te hebben ondergaan, doorzenden.

Terwijl *Pupin's* vinding ten doel heeft de electrische transmissie-voorwaarden in de geleidingen te verbeteren, zorgen de *overdragers*, ook wel *versterkers* genoemd, er voor dat de effecten worden vergroot.

Ook bij de telegrafie worden de verzwakte telegrafeerstroomen met behulp van overdragers, ook wel relais genoemd, geregenereerd en doorgezonden. Deze manipulatie kan onbegrensd herhaald worden, om zoodoende elken willekeurigen afstand telegrafisch te overbruggen. Reeds in 1870 werd Engeland met zijne Indische bezittingen in directe telegrafische gemeenschap gesteld door inschakeling van 11 relais in eene zelfde draadverbinding. Het grootste aantal relais, dat thans in eene directe telegraafverbinding in bedrijf is, bedraagt 22.

Toen in 1900 de waterwoestijn van den Stillen Oceaan door een kabel ter lengte van 15000 K.M., welke op diepten van meer dan 6 K.M. moest worden gezonken, was bedwongen, werd bij de plechtige in dienststelling van dezen kabel eene directe telegraafverbinding met behulp van relais, rondom de wereld tot stand gebracht, en verwezenlijkt wat in Shakespeare's Midsummernight's dream de elfen in overmoed en schalkschen luim haar koning Oberon en zijne lieftallige gemalin Titania hadden durven aanbieden: „W'ill put a girdle round about the earth in forty minutes".

Edoch, de telegraafrelais kunnen voor de telefonie niet

dienen. Zij vorderen voor eene doeltreffende functionneering stroomen van eene intensiteit, welke uit een telegraafoogpunt zwak mogen worden geacht, toch nog vele malen sterker zijn dan de over te dragen telefoonstroomondulaties.

Terwijl bij de telegraafrelais metaal-massa's in beweging moeten worden gebracht, hetgeen een relatief groote hoeveelheid mechanischen arbeid vordert, berust de telefoonoverdrager op een geheel ander beginsel, waarbij voor den mechanischen arbeid, electrische energie-omzetting in de plaats treedt.

De telefoonrelais, welke dan ook berustten op microfonische contacten of electromagnetische werkingen, zooals die van Shreve, Brown, Pupin, Campbell, Lyons en anderen, hebben alle gefaald.

Het thans gebruikte telefoonrelais heeft tot grondslag het audion van *De Forest*. Opgemerkt zij dat het vaderschap van dezen toestel den Amerikaan *De Forest* betwist wordt door den Engelschman *Fleming* en den Oostenrijker *von Lieben*.

De werking van dit audion berust op het reeds eerder bekende feit dat gloeiende metalen, zooals een platina-draad, negatief electrisch geladen ionen uitzendt. In de atmosfeer wordt het effect dezer ionen spoedig geneutraliseerd. Brengt men den draad evenwel in een luchtledig glazen vat tegenover een metalen plaatje dat positief electrisch geladen is, dan zal deze positieve lading de vrij rondzwevende negatief geladen ionen aantrekken. Wordt nu de positieve lading van het plaatje steeds vernieuwd, dan zal zich een stroom van negatief geladen ionen, anodestroom genoemd, in de richting van den draad naar het plaatje bewegen. Plaatst men verder tusschen gloeidraad en plaatje een metalen rooster, zoogenaamde derde electrode, waaraan wisselende electrische spanningen worden toegekend, dan zal ook de anodestroom zich evenredig met deze spanningen wijzigen. Eene negatieve spanning op het rooster zal den anodestroom doen afnemen,

eene positieve spanning zal hem daarentegen doen toenemen.

Bij oordeelkundige samenstelling van het audion kunnen de wijzigingen in de spanningen op het rooster, versterkte electrische schommelingen in den stroom tusschen rooster en plaatje teweegbrengen.

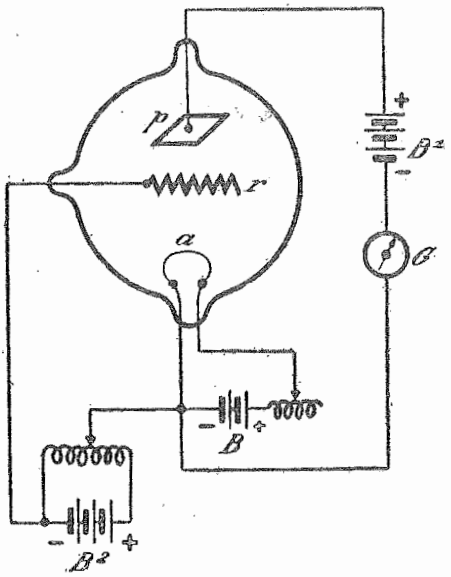


Fig. 3.

a = gloeidraadje.
B = batterij voor het in gloeiing brengen van a.
p = plaatje waaraan de batterij B^I positief electrische lading moet geven.
r = rooster, waaraan door de batterij B^2 wisselende ladingen kunnen worden gegeven.
G = Galvanometer ter waarneming van den stroom tusschen p en a.

Terwijl fig. 3 de constructie van het audion in zijn grondvorm voorstelt, laat fig. 4 de wijze zien waarop een telefoonstroomloop van links met het toestel in gemeenschap kan worden gebracht, om zich, dezen verlatende, in rechtsche richting voort te planten.

Aldus doet in dit geval het audion, de drie-electrodenlamp, dienst als versterker en als overdrager, terwijl bij directe inschakeling van de telefoon in de rechtsche vertakking, de toestel enkel als versterker dienst doet.

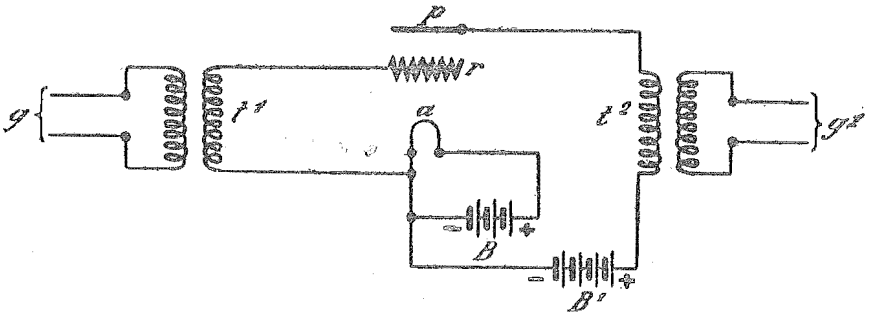


Fig. 4.

g = telefoongeleiding of verbinding met antenne.
g¹ = ontvangapparaat of telefoongeleiding.
p = plaatje met positief electrische lading.
r = rooster met zich wijzigende electrische spanningen.
a = gloeidraadje.
B = batterij, zie fig. 1.
B¹ = idem.
t¹ = transformator.
t² = idem.

Bij het gebruik van één versterker kan ook slechts geluidversterking in ééne richting verkregen worden, tenzij de lijnen waartusschen de versterker geschakeld is, absoluut identiek zijn. Is zulks niet het geval, en dat is de regel, dan moeten twee versterkers gebezigd worden, elk dienst doende voor eene bepaalde richting. Om hierbij evenwel eene goede werking te verzekeren, worden verschillende voorzorgsmaatregelen gevorderd, welke met tamelijk ingewikkelde stroomloopen gepaard gaan. Een dezer, de zoogenaamde belansschakeling van *Siemens* en *Halske*, is in zijn grondvorm voorgesteld in fig. 5. (blz. 105.)

Er wordt hierbij gebruik gemaakt van „kunstlijnen", in de teekening aangeduid door *Kl*, zoodat ter weerszijden van a_1 b_1 en *ab* van de transformatoren geheel identiek electrische toestanden aanwezig zijn. De van A komende telefoonstroompjes induceeren gelijke stroompjes in de omwindingen c_1 d_1 van den transformator, welke in den versterker I omgezet en versterkt overgebracht worden naar de punten *a b*

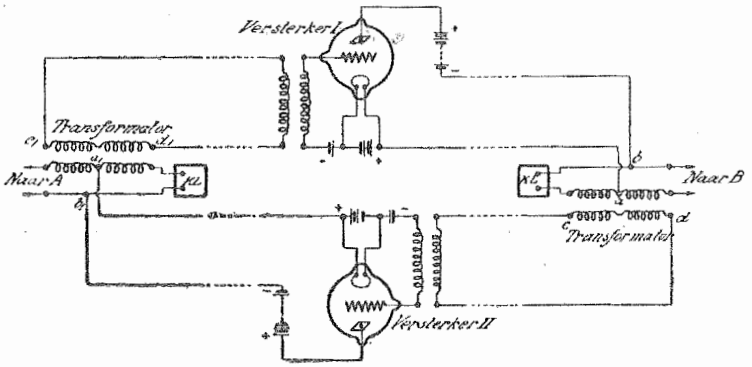


Fig. 5.

van den transformator, welke bij de lijn naar B behoort. Bij deze punten verdeelen de telefoonstroompjes zich gelijkelijk naar de lijn B en naar den kunstweerstand, welke, zooals gezegd, aan deze lijn geheel identiek is. Zij compenseeren aldus hun invloed op de omwinding *cd* van den transformator, en kunnen bijgevolg den versterker II niet beïnvloeden.

Voor de telefoonstroompjes, welke van de richting B komen, werkt de overdrager in omgekeerde richting onder benutting en den versterker II.

Door het aanbrengen van kunstmatig verhoogde zelfinductie in de geleidingen, hetzij met behulp van de naar *Pupin*

genoemde zelfinductie-spoelen, dan wel door toepassing van de *Krarup*-methode, in samenwerking met de drie-electroden-lampen-overdragers worden de grenzen waarover telefoon-gemeenschap mogelijk is, nog slechts beperkt door de Oceanen, welke de werelddeelen scheiden.

Doch ook hieraan zal worden tegemoet gekomen door de *radio*-telefonie, waarvan met zekerheid kan worden verwacht, dat zij in afzienbaren tijd de laatste schakel van een wereldtelefoonnet zal vormen.

Vast staat intusschen, dat technisch niets in den weg staat aan den bouw van een Europeesch telefoonnet.

Den 2den November 1922 heeft de Heer *Frank Gill*, Voorzitter van het Engelsche Genootschap „The Institution of Electrical Engineers", het denkbeeld voor zulk eene grootsche onderneming nader belicht. Hij beschouwt daarbij de twee navolgende oplossingen:

1e. Alle doorgaandverkeer tusschen de verschillende landen wordt verzorgd, technisch en administratief, door eene enkele Maatschappij, welke de vereischte concessies der betrokken Staten bezit en zich de medewerking van den dienst der telefonie in die Staten heeft verzekerd.

2e. De verzorging, als voren, geschiedt door eene Naamlooze Vennootschap, waarbij de betrokken Staten als vennooten optreden en de reeds bestaande internationale verbindingen inbrengen, of deze in exploitatie aan de vennootschap tegen passende vergoeding afstaan.

Als voorbereiding zouden de betrokken Staten het vraagstuk in gemeenschappelijke studie moeten nemen op eene internationale conferentie.

De Fransche Telegraafadministratie heeft dit laatste denkbeeld opgevat, doch jammer genoeg op beperkte wijze. Op hare uitnoodiging zijn den 12en Maart 1923 vertegenwoordigers der Belgische, Engelsche, Fransche, Italiaansche, Zwit-

sersche en Spaansche administraties te Parijs aangekomen, waar dezen een arbeidsprogram is voorgelegd. Onder de administraties, welke zeker niet hadden mogen ontbreken, behooren behalve Nederland, ook Denemarken, Noorwegen en Zweden, om van Duitschland niet te spreken.

Als resultaat van deze conferentie zal een „adviseerend Internationaal Telefoon-comité" worden gevormd, waaraan een permanent comité met een vast secretariaat te Parijs terzijde gesteld wordt. Voorloopig zullen in dit comité alleen afgevaardigden der reeds genoemde administraties zitting nemen en stem hebben. Er is nochtans ook aan eene uitbreiding gedacht, welke echter eerst ter sprake zal komen, nadat de richtsnoeren van de aan de conferentie deelgenomen hebbende administraties zijn bekrachtigd.

Het is te meer opmerkelijk dat onze telefoonadministratie niet werd uitgenoodigd, waar ons land reeds sinds lang ongemeen levendige telefonische betrekkingen met België en Frankrijk onderhoudt, en in den laatsten tijd ook met Engeland.

De gemeenschappelijke plannen van Nederland en Engeland betreffende de uitbreiding van het internationale telefoonverkeer tusschen deze landen, en van Engeland via Nederland met Westelijk- en Noord-Europa bleven buiten beschouwing. De veronderstelling is niet gewaagd, dat eene sterke richting heeft voorgestaan om het Engelsche verkeer met het vaste land van Europa via Frankrijk te leiden.

Uit het feit dat, na het succes verkregen met den eersten Nederlandsch-Engelschen kabel, thans de vervaardiging van een tweeden kabel met niet minder dan 12 spreekgelegenheden is ter hand genomen, moge veilig worden afgeleid dat van Engelsche zijde veel waarde wordt gehecht aan de route via ons land.

Volgens Engelsche verklaring is zij tot dusver de beste telefoonverbinding met het vaste land waarover Engeland kan

beschikken, hoewel in deze verbinding een meer dan driemaal zoo lange zeekabel is ingeschakeld dan in de verbinding Londen-Parijs, en een bijna dubbel zoo lange zeekabel dan in de verbinding Londen-Brussel. (Verg. Tijdschrift voor Electrotechniek, Mei 1923, blz. 234). Ook in de „Annales des Postes, Télégraphes et Téléphones" wordt van deze verbinding getuigd: „L'ouverture du service Anglo-Hollandais est un gage de ce qui suivra".

Technisch bestaat ontegenzeggelijk de mogelijkheid het geheele telefoonverkeer van Engeland met Midden Noord- en Oost-Europa zoowel over België en Frankrijk als over ons land te voeren. In de toekomst zal dan ook een wedstrijd te wachten zijn met betrekking tot den omvang, waarin het Engelsche telefoonverkeer met het vaste land over de eene dan wel over de andere route zal plaats vinden. Beslissend zullen hierbij zijn, behalve de tariefsquaestie, de deugdelijkheid der technische inrichtingen, de snelheid waarmede de aansluitingen zullen tot stand komen en de bedrijfszekerheid van het verkeer.

Naar mijne overtuiging zal de Nederlandsche Telefoonadministratie deze concurrentie, mede op grond van de opgedane ervaring, niet hebben te vreezen.

VIJFTIG JAREN GENEESKUNDE

DOOR DR. C. WINKLER, HOOGLEERAAR TE UTRECHT.

Ik moet bekennen, dat de keuze van het onderwerp voor hedenavond, mij is geïnspireerd door een lezing over een soortgelijk onderwerp door mijn vriend *Sir Humphry Rolleston* kort geleden in Utrecht gehouden.

In die voortreffelijke rede verdeelt de beroemde voorzitter van de „College of physicians" in Londen het vijftigjarig tijdvak, dat ik te behandelen heb, in drie deelen.

Hij onderscheidt 1e de periode, waarin de studie der physische ziekteteekenen en die der weefselveranderingen op den voorgrond treedt;

2e de periode, waarin zich daarnevens ontwikkelt de klinische pathologie en een nieuw opgekomen oorzakenleer;

3e de periode, waarin alles wordt overschaduwd door de studie der functioneele afwijkingen.

Ofschoon ik niet in alle opzichten kan meegaan met mijn geleerden vriend, en bepaaldelijk de tweede en derde periode in een aantal opzichten anders zal moeten omschrijven, dan hij het deed — stem ik met hem geheel overeen met de beteekenis der eerste periode.

Trouwens zij ligt betrekkelijk reeds zoo ver achter ons, dat zij heden reeds, sine ira, objectief is te overzien.

Twee richtingen van onderzoek breken zich baan in de tweede helft der 18de en in het begin der 19de eeuw.

De eene begint met *Morgagni* (1682—1772), wordt voortgezet door *Xavier Bichat* (1772—1802), *Laennec* (1771—1862)

en *Baillie* (1771—1823), totdat zij door *Virchow* als leer der cellulair pathologie in een systeem wordt gebracht. Deze onderzoekers bestudeeren de weefselveranderingen, die na den dood in het menschenlichaam bij verschillende ziekten worden gevonden.

De andere richting sluit zich daarbij aan. Zij wordt geopend door *Auenbrugger* in 1761, door zijn beroemd boek, het „Novum Organon". Het is echter eerst door *Corvisart's* vertaling in 1808 gemeengoed der geneeskundigen geworden. Nadat *Piorry* (1794) den plessimeter er aan heeft toegevoegd, is de beklopping, de *percussie* van 's menschen lichaam tijdens het leven om de aanwezigheid van weefselveranderingen op te sporen, een methode geworden. Als later *Laennec's* „auscultation médiate" verschijnt en dus in 1821 zich de *auscultatie* met den stethoscoop bij de percussie voegt, begint het nieuwe tijdvak. Physische teekenen worden tijdens het leven vastgesteld en gecontroleerd door de weefselveranderingen, welke na den dood bij de lijkopening worden aangetoond.

In Nederland heeft de nieuwe gedachtengang zich eerst zeer laat baan gebroken. Toen ik in 1873 student werd, herinner ik mij nog een uitstekend leermeester, aan wien wij allen veel te danken hebben, maar die uiterst sceptisch tegenover de nieuwe methoden was gestemd.

Hij achtte het verrichten eener lijkopening toch eigenlijk beneden de waardigheid van een medicus, hekelde aan het ziekbed (want alle besprekingen bij den zieke geschiedden in het Latijn) het schandelijk slechte Latijn, waarmee wij zijn ciceronische zinnen beantwoordden en kon op vermakelijk rake wijze de overdrijvingen in den nieuwen gedachtengang tentoonstellen.

Heel scherp wordt de overdrijving in de nieuwe methode gegeeseld door *Pruys van der Hoeven*. Hoor, hoe hij den

nieuwen geneesheer aan het ziekbed ziet. „Zij verlaten zich, zoo zegt hij, op hun pathologische anatomie, op hun physische methode van onderzoek, op hun techniek. Maar zijn zij ook gewapend tegen hysterische en hypochondrische grillen. Zijn zij er zeker van geen humeursbuien voor hersen- of ruggemergsontstekingen aan te zien. Zoudt gij er op durven zweren, dat hun mikroskopische en stethoscopische onderzoekingen altijd door de uitkomst bekroond of door de sectie gestaafd werden".

Maar er zouden nog erger overdrijvingen komen, want de eerste vrucht, die de pathologische anatomie met de physische methoden der percussie en auscultatie aan de geneeskunst schonk was — het nihilisme der Weener school.

Die vrucht was zeker onrijp, maar daarom nog niet wormstekig. Als tegenhanger der polypharmacie der voorafgegane periode was een voorbijgaand nihilisme noodzakelijk.

Maar hoor ik U vragen: Methoden die zich zoozeer leenden tot overdrijving, die zoo terecht door *Pruys van der Hoeven* werden gelaakt, en ons aanvankelijk een zoozeer negatief geschenk brachten als het nihilisme, hoe konden zij zulk een goeden invloed hebben en de geneeskunde hervormen.

Wel, ik stelde zooeven de keerzijde van het goede voorop, opdat men niet meene, dat waar zonneschijn is, de schaduw mag ontbreken.

De voordeelen der nieuwe methoden zijn talrijk geweest.

1e. Er ontwikkelde zich tusschen patient en geneesheer een veel nauwere band dan vroeger ooit bestaan had.

Het dagelijks weerkeerend onderzoek naar physische afwijkingen, voerde, terwijl dit plaats vond, tot een rustige uitwisseling van gedachten tusschen beiden. Al doende werd door den geneesheer de lichamelijke en geestelijke toestand van den lijder beter verstaan.

Was dit een voordeel voor den patient, voor den geneesheer bezat het de grootste beteekenis.

Er bestaat namelijk zoo iets, dat men de medische blik of het medisch instinct noemt. Er schuilt daarin ongetwijfeld een aangeboren factor, maar het „medicus nascitur non fit" is toch niet geheel waar. Die eigenschap wordt, naar ik meen, langzaam verkregen en alleen door jaren lang dagelijkschen omgang van den natuuronderzoeker met zieken. Langzamerhand ontstaan dan half bewuste, misschien zelfs niet bewuste herinneringen. Zij geven aan den geneesheer, die natuuronderzoeker is gebleven, een voorstellingsconstellatie, die hem in staat stelt met den eersten oogopslag dikwijls in het zwaartepunt van 's menschen lijden te zien. Dit medisch instinct wordt echter hoogst gevaarlijk voor hem, die er op vertrouwt, als hij niet altoos weer door scherpe critiek op de physische verschijnselen en door telkens herhaalde controle bij lijkopening, die kostelijke eigenschap in de juiste richting ontwikkelt. Onze nieuwe methoden hebben het natuuronderzoek in het dagelijksch leven gebracht en kweekten daarmee betere medici.

2e. Van veel grooter belang voor geneeskunde en geneeskunst was, dat de beteekenis der oude localisatie-leer nu eerst in vollen omvang werd verstaan. Men ging streven naar kennis van organen, van orgaan-architectuur, orgaanfunctie, orgaan-lijden. Men ziet het lichaam als samenstel van functioneel onderscheiden eenheden.

Hoevele eeuwen heeft het niet geduurd, eer men wist, dat het hart het middelpunt is in een gesloten bloedvaatstelsel? Nog langer eer men begreep, dat de longen ons in staat stellen om het meest belangrijke voedingsmiddel, dat wij kennen, de *zuurstof* door ademhaling op te nemen en eer de kleine tegenover de groote bloedsomloop is gesteld!

Heden nog is het een vraagstuk van actueele beteekenis, op welke wijze het darmkanaal en de daaraan verbonden klieren, de ruwe voedingsmiddelen verwerken en in een vorm

brengen, die hen geschikt doen zijn om gebruikt te worden in de celstofwisseling.

Voor 50 jaren wist men nog niets van klieren zonder uitloozingsbuis en vermoedde niemand, dat zij stoffen zouden leveren, onmisbaar voor de verdeeling der stofwisseling en nog tast men, zoekend, naar de juiste beteekenis dezer stoffen.

De allergrootste arbeid heeft het gekost, eer men in het centrale zenuwstelsel het orgaan voor de betrekkingsverrichtingen heeft leeren verstaan. Dat is nog geen eeuw oud.

Beter en meer geordend inzicht in de beteekenis der organen kon eerst komen, toen het mikroskoop zijn intrede had gedaan en de architectoniek der organen afzonderlijk bekend werd. Toen werd het bewijs geleverd dat alle organen uit cellen waren opgebouwd, toen klonk het „omnis cellula e cellula", toen ging men rekenen met zelfstandig celleven binnen het organisme en verplaatste zich de localisatieleer van specifieke organen naar specifieke celterritoriën.

Ten slotte kwam *Virchow's* cellulair-pathologie de kroon zetten op het grootsche wetenschappelijke gebouw. De humoraal-pathologie scheen te hebben afgedaan. Cel-veranderingen, celleven, celdood, werden de studie-objecten.

Betere orgaan-kennis, de oplossing der organen in celterritoriën, samen met de studie der physische teekenen bij zieken, bracht ons de beschrijving van orgaan- en celziekten en daarmee een nieuwe ziekteleer. Die leer leeft heden bij den leek. Hij kent geen zieken. Hij kent lijders aan longziekten, aan buikvlies-, of borstvlies- of hersenvlies-aandoening enz.

Tegenover de oudere leer, beteekende zij in de ontwikkeling der geneeskunde een groote schrede voorwaarts. Waar men te voren van den zieken mensch nauwlijks wist, dat er in zijn samenstellende deelen iets veranderd was, zag men nu den zieken mensch den drager van een ziek orgaan. Maar

zij schoot te kort, omdat de mensch meer is dan een samenstel van organen alleen.

Die tekortkoming, die eenzijdigheid, voelde de geneeskunst elken dag. Even goed als de nieuwe leer in haar reactie tegen de polypharmacie haar doel voorbijschoot in het nihilisme, evengoed geraakte men op den verkeerden weg, als men daar, waar men geen orgaanlijden kon vaststellen, in plaats van eigen onkunde te belijden, liever van geen ziekte wilde weten.

Pruys van der Hoeven, legde den vinger op de zeer wonde plek. Die eenzijdigheid is overigens wel de hoofdoorzaak, waarom deze periode plaats moest maken voor een andere.

Pathologische anatomie en physische teekenen behooren tot de onmisbare grondslagen der geneeskunde. Zij zullen dat altijd blijven, maar zij zijn niet de eenige pijlers waarop het gebouw rust.

Een ding is echter door *Virchow's* arbeid voor goed bereikt geworden. De pathologische anatomie heeft haar plaats ingenomen als een zelfstandig leervak, als de moederwetenschap voor elken klinicus.

Evenwel was reeds de eerste ervaring, die de pathologische anatomie opdeed, dat de weefselveranderingen, welke tijdens het leven werden ondersteld, lang niet altijd na den dood juist bleken te zijn.

Hoeveel er daarnevens werd gevonden, waarvan de klinicus tijdens het leven geen denkbeeld had gehad, en of wellicht niet alle organen bij ziekten leden, werden vraagpunten. Genoeg, de overtuiging breekt zich baan dat één enkel persoon slechts een betrekkelijk klein deel der geneeskunde met alles wat er aan vast is, kan beheerschen.

Verdeeling van arbeid wordt een eisch. De ontwikkeling van het specialisme begint.

Bovendien echter spreekt het van zelf, dat de patholo-

gische anatomie zich niet alleen tevreden kan stellen met de taak der controle van de lijkopeningen.

Een cellulair-pathologie is een zeer mooi en kostbaar bezit, waarvan de volledige uitwerking ook heden nog wel den levensarbeid van velen zal kosten. De pathologische anatomie gaat andere vragen stellen.

Een dier vragen ligt voor de hand. Van waar de celveranderingen? Eerst aarzelend gesteld, begint *Klebs* met de studie van wat hij praecellulaire veranderingen noemt. Toen echter groote, nieuwe ontdekkingen op chemisch, botanisch en biologisch gebied het terrein ontgonnen hebben, wordt door die vraag een nieuwe wetenschap gesticht.

De bewijsvoering, dat rottings- en gistingsprocessen slechts tot stand komen, als kleine levende wezens aanwezig zijn, begaafd met eigenschappen om chemische splitsingen te voorschijn te roepen in de middenstof, waarin zij leefden, maakte indruk. Op den voet werd zij gevolgd door de ontdekking, dat soortgelijke levende wezens bij de wond-infecties een rol spelen en bij dieren ingespoten, bepaalde infecties in het leven kunnen roepen.

Maar ik behoef hier niet lang stil te staan bij den geweldigen invloed van *Pasteur*. Versch ligt nog in het geheugen het eeuwfeest van dien genialen man en de voortreffelijke redevoeringen door *Calmette*, *Spronck* en anderen bij die gelegenheid hier te lande gehouden.

De draagwijdte dezer ontdekkingen werd onmiddellijk verstaan. In *Lister's* handen begon de antiseptische wondbehandeling, die weldra een aseptische wondbehandeling zou worden, de chirurgie in nieuwe banen leidde en de gevreesde epidemische kraamvrouwziekte grootendeels voorkwam.

De met *Pasteur* begonnen, door *Koch* en *Davaine* voleinde bewijsvoering, dat bij een aantal infectieziekten — miltvuur, cholera, tuberculose, typhus — kleine levende organismen

worden gevonden, die een rol kunnen spelen als ziekmakende agentia, moest de praeventieve bestrijding dezer ziekten ten goede komen en de hygiene hervormen.

Uit de laboratoria der pathologische anatomie ontstonden geleidelijk laboratoria voor bacteriologie, die zich voorloopig nog beperkten tot onderzoek naar lagere organisme in menschelijke weefsels en uitwerpselen, maar weldra als laboratoria voor mikrobiologie zich gingen bezighouden met het onderzoek naar de levenseigenschappen dezer parasieten, naar de, meestal chemische, aanvalswapenen, die zij tegen haar gastheer keerden en naar de verweersmiddelen, waarover de gastheer tegen de ingedrongen parasiet beschikte. Aldus wordt aan de geneeskunde gebracht: vooreerst de *serologie*, die in *Behring's* handen aan de geneeskunst brengt: de behandeling van de diphtherie met antidiptherie-serum.

Vervolgens de vaccinotherapie, die aan de geneeskunst ten goede komt: als de vaccino-therapie bij hondsdolheid door *Pasteur*, als anti-staphylococcen-vaccins van *Whright* bij de steenpuisten-ziekten, en als talrijke andere vaccins.

Eindelijk door *Paul Ehrlich's* titanen-arbeid, het inzicht, dat een werkelijke causale therapie bij infectie-ziekten mogelijk is, wat aan de geneeskunst ten goede komt: als een „therapie specifica magna sterilisans ex uno ictu therapeutico", welke dan bij de syphilis niet alles wat men er van heeft verwacht, mag hebben gegeven, maar de framboesia tropica heeft uitgeroeid.

Hier ziet men dus een nieuwe grondslag voor de geneeskunde zich ontwikkelen, een klinische pathologie, die onafhankelijk van weefselveranderingen, onafhankelijk van physische teekenen, een plaats komt vragen.

Er wordt dus een nieuwe ontwikkelingsperiode voor de geneeskunde ingeluid. Ik zal haar anders dan *Sir Humphry*

omschrijven. Zij wordt bepaald: door de ontwikkeling van het specialisme, door die der klinische pathologie, door de hernieuwde poging om een oorzakenleer te stichten en in Nederland door de stichting van klinieken.

De controle door lijkopening had de noodzakelijkheid van verdeeling van arbeid doen inzien.

De medicus die iets bereiken wilde, moest zich al spoedig beperken tot een onderdeel er van. Noodzakelijk gevolg van de ontwikkeling der geneeskunde zag men het specialisme ontstaan. Het praktische leven bracht weldra oogartsen, neus-keel-oorartsen, neurologen, psychiaters, dermatologen kinderartsen en wat niet al voort. De specialisten vereenigden zich in Vereenigingen, wier leden elkander op de hoogte zullen houden van den vooruitgang in hun vak. Die vereeniging vraagt en verkrijgt dan een leerstoel aan onze Rijks-Universiteiten. Dat alles is een natuurlijk gevolg der ontwikkeling van de geneeskunde. De student heeft het recht in zijn studietijd, de besten, die er zijn, belast te zien met de behandeling van het onderwijs in de onderdeelen.

Maar daartegenover mag de hoogleeraar in een onderdeel nooit vergeten, dat hij niets meer is dan een pion in het groote schaakspel, dat zijn onderwijs niets meer, maar ook niets minder moet nastreven, dan onderwijs in geneeskunde, gezien van uit een bepaald, een bizonder standpunt. Specialisten kweekt hij aan de Universiteit niet. Hij behandelt zijn vak in samenhang met het geheel. Zoo hebben ten allen tijde onze groote mannen hun taak als specialisten opgevat. *Schreuder van der Kolk* was als physioloog te Utrecht de man, die de psychiatrie hervormde. *Donders* de physioloog, schiep de ophthalmologie. Werpt men tegen, dat dit de goede oude tijd was, dan noem ik *Wertheim Salomonson*, de electrophysicus, die waarlijk niet neuroloog alleen was, al hielp hij de neurologie hier te lande scheppen, maar die tevens

grootmeester op röntgenologisch gebied, de geheele geneeskunde hielp hervormen.

Tot zoover waren dan ook de voordeelen van een wordend specialisme tastbaar. Men leze slechts de zittingsverslagen vooral van gecombineerde vergaderingen van meer dan een specialisten-groep. Men wordt getroffen, hoe snel een groot aantal algemeene vragen, nu zij telkens van een anderen gezichtshoek uit worden bezien, tot oplossing komen. Zonder hen hadden buik-, hersen- of longchirurgie zich nimmer in het snelle tempo ontwikkeld als thans het geval is. Zonder hen zouden physiologie en psychologie der zintuigen zich niet zoo spoedig ontwikkeld hebben tot de trotsche hedendaagsche wetenschappelijke gebouwen.

Daartegenover stond echter een keerzijde. Er kwamen hoe langer hoe meer specialisten-vereenigingen. Zij verlangden weldra protectie-maatregelen, vroegen speciale opleiding aan de Universiteit, speciale doctoraten en een wetsbepaling, dat alleen aan den specialistischen doctor de uitoefening van het vak zou zijn vergund.

Nu is het zonneklaar, dat hij, die iets dergelijks zal verdedigen de algemeene wetenschappelijke medische opleiding der studenten dreigt stuk te slaan ten bate van het specialisme, dat zijnerzijds tot ondergang gedoemd is, zoodra die toeleg gelukt is. De geneeskunde en de geneeskunst zijn geheelen, geen verzamelingen van onderdeelen zonder samenhang.

De algemeene opleiding is in Nederland niet dan na jaren langen moeilijken strijd verkregen, nu in het buitenland algemeen als voortreffelijk erkend en een trots onzer natie. Laat ons zorgen haar te verdedigen, want het gevaar, waarmee thans het niet in perken gehouden specialisme het bedreigt, is niet denkbeeldig.

Nog niet heel lang geleden, gebeurde het, dat onze regeering genoeg kreeg van de voor haar dikwijls lastige, maar

zakelijke adviezen der faculteiten, die haar over het curatorium heen bereikte. Dit was vooral het geval, toen de adviezen der faculteiten, na besprekingen in interfaculteitsvergaderingen, niet zelden eensluidend werden. Zonder curatoren of faculteiten daarin te kennen, koos de regeering zich een eigen adviseerend lichaam uit eenige personen, die haar daarvoor geschikt voorkwamen en noemde het een Onderwijsraad. Dit lichaam, dat wellicht in het schema onzer hedendaagsche Radenregeering uitstekend past, was in *medische* onderwijszaken volkomen incompetent. Het schonk ons op een goeden dag een nieuw ontwerp Akademisch statuut, waarbij voor iedere specialist in spe, na het candidaatsexamen, een eigen opleiding, en een eigen doktoraal examen werd beloofd.

Gelukkig stonden alle faculteiten der geneeskunde in den lande pal voor de verdediging van het beginsel der algemeene opleiding. Het nieuwe statuut is dan ook niet in dien vorm gekomen. De booze woorden over de koppigheid der faculteiten door het lid van dien Raad, prof. *Kohnstamm*, tot hen gericht, werden opgewogen door de overtuiging, dat zij, ten minste voorloopig, de algemeene opleiding voor de geneeskunde gered hebben.

Wie specialiseeren wil, doe het na zijn eindexamen aan de Universiteit. Er is dan voor specieele studie aan de Universiteiten gelegenheid te over.

Het bezwaar verbonden aan al te sterk specialiseeren, doet niets af van de voordeelen, die het specialisme ons heeft gebracht. Ik moest er bij stilstaan, omdat de moeilijk begrijpelijke maar vinnige strijd, die gestreden is op den overgangsdrempel der beide ontwikkelingsperioden tusschen klinici en laboratorium-werkers, slechts wordt verstaan uit specialistenvrees.

Waar vroeger een geneesheer tevreden kon zijn met een eenvoudig geoutilleerd laboratorium tot onderzoek van bloed,

faeces, urine, was zulk een inrichting onvoldoende geworden. Bacteriologie, mikrobiologie, pharmacodynamie, serologie, vaccin- en antispecifieke therapie vroegen kostbaar bewerktuigde laboratoria. Zij eischten die in naam der kliniek.

Aanvankelijk zag de klinicus in de laboratorium-werkers volstrekt niet samenwerkers, waaraan hij dringend behoefte had. Hij zag hen als nieuwe specialisten met zeer hooge aanspraken. Want, zij slingerden den klinicus eenige niet malsche verwijten naar het hoofd.

Die onbescheiden laboratorium-werkers vroegen onder meer: wat nu eigenlijk de waarde was van dat medisch instinct, van de kennis van weefselverandering en physische teekenen voor de behandeling der zieken. Wat hebt gij er aan, of gij in de kliniek al vaststelt, dat gindsche lijder een ruggemergsvlies-ontsteking heeft, als het naar het laboratorium gezonden bloed en lumbaalvocht krioelt van streptococcen. Er bestaat in zoo'n geval een strepto-coccenziekte. Uw locale diagnose is geen knip voor den neus waard. Om de oorzaak bekommert zij zich niet. Evenmin om de behandeling, die toch in een serum of in een vaccin gevonden zal moeten worden. Schaf uw kliniek liever af, verplaats U naar het laboratorium en kom daar met ons werken.

De klinicus bleef het antwoord op die overdrijving niet schuldig. „Mijn kliniek is mijn laboratorium", riep hij. „Aan mij zal de beslissing blijven over wat ik met uw vondsten doen zal, want ik overzie het geheel, gij niet!"

Beiden hadden gelijk en beiden hadden ongelijk.

Er was inderdaad een nieuwe methode van onderzoek geboren naast de pathologische anatomie en naast de physische teekenen — een zelfstandig werkende klinische pathologie — maar die daarom nog niet het recht had, de oudere methode waarde te ontzeggen.

Het ware gelukkiger geweest als de klinicus direct had

ingezien, dat op dit gebied samenwerking met laboratoriumwerkers noodzakelijk was geworden, maar zij maakten dat niet gemakkelijk.

In hun doctrinairisme begonnen zij een nieuwe oorzakenleer te decreteeren volgens het oude ontologische recept.

Neem een virulente bacterie, breng hem bij een mensch en er komt een infectie-ziekte.

Zoo eenvoudig is echter de staat van zaken niet.

Het menschelijk organisme is zelf een eenheid, gewapend met allerlei, ons zeer onvolledig bekende, verweersmiddelen tegen *alle* van buiten komende schadelijkheden die het bedreigen. Niet alleen tegen een invasie van mikro-organismen. In den eeuwigen strijd „des forces qui résistent contre la mort" staalt zich het organisme. Eerst wanneer al zijn verweersmiddelen zijn uitgeput, gaat het te gronde.

Voordat men zich rekenschap ervan gaf, dat in deze doctrinaire oorzakenleer der bacteriologen, de belangrijkste factor van alles verwaarloosd werd, is er veel kwaads gesticht. Men moge dien factor met den naam van constitutie, van weerstandsvermogen of hoe men wil, aanduiden, zoo lang men hem in de oorzaken-leer zijn plaats niet geeft, ontaardt de hulp die aan de menschheid wordt geboden in onzinnige bacterienvangerij.

Het had daaromtrent aan waarschuwende stemmen niet ontbroken. Geen mindere dan *Nägeli* had zijn waarschuwing in een pakkenden vorm gegoten. „Als gij, zoo zegt hij, een nieuwe spoorlijn aanlegt door een dorp, welks huizen met rieten daken gedekt zijn en er ontstaan, na dien aanleg, daar telkens weêrkeerende branden, dan is het middel daartegen niet, dat men de vonken uit de door het dorp voortijlende locomotief opvangt. Men dekt de huizen met pannen".

Die verstandige raad is niet altijd ter harte genomen. Be-

strijding van alle ziekten moet aanvangen met versterking van het weerstandsvermogen.

De overheid, die voor lucht, licht en voeding ijvert, die zorg draagt, dat in alle volkslagen goede woningen en goed eten wordt gevonden, bereikt meer bij de bestrijding der infectie-ziekten, dan wanneer zij jacht maakt op bacillendragers en hen vervolgt. Dit geldt ook voor tuberculosebestrijding, die nooit tuberculose-hetze moet worden. Ondanks fouten en misgrepen werd desniettemin iets goeds geboren. Men begreep dat het levende mikro-organisme of de stoffen, door dit wezen geproduceerd, het menschelijk organisme prikkelden tot verweer. Al was men er nog niet aan toe, een juiste leer der ziekte-oorzaken te geven, men kreeg toch een beter inzicht in de ziekteverschijnselen. Hier te lande was het *Pekelharing*, die in één dier sierlijke voordrachten waarvan hij het geheim heeft gehad, de ziekteverschijnselen definieerde, als krachtige levensuitingen van het zich verwerend organisme tegen schadelijke agentia, van welken aard dan ook. Zonder die verweersuitingen zou het bij den eersten aanval te gronde gaan.

De verzoening tusschen klinici en laboratorium-werkers was nog om andere dan de reeds genoemde redenen moeilijk. Want terwijl de practische klinicus zijn arbeid door het publiek betaald krijgt, kent en waardeert het publiek nauwelijks den laboratorium-werker, van wiens bekwaamheid en ernst toch zoo heel veel afhangt. Het vooruitzicht om jaren lang als 1ste assistent aan een laboratorium werkzaam te zijn op een karige bezoldiging is niet uitlokkend.

Een eerste poging om een oplossing te vinden voor gezamenlijken geneeskundigen arbeid ten bate van den zieke is die, welke de Engelschen het „unit-system" noemen. Zij is in Amerika verwezenlijkt in de *Majo*-kliniek, maar geldt daar alleen voor de hoogere standen.

De gedachte, dat één persoon niet is opgewassen tegen het volledig onderzoek van een zieke, is de grondslag der *Majo*-inrichting. Hij, die er komt, vindt er de beste internisten chirurgen, oogheelkundigen, laboratorium-werkers, neurologen enz. enz. bijeen. Hij gaat door ieders handen, eer het gezamenlijk resultaat van het onderzoek in de therapie wordt belichaamd. De lijder betaalt de inrichting, die de medewerkers als gelijkwaardig honoreert.

Toch geloof ik, dat wij in Nederland een gelukkiger oplossing voor dit vraagstuk hebben gevonden. Ik bedoel de stichting van onderwijsklinieken.

Men zou de beteekenis dezer klinieken zeer slecht omschrijven, wanneer men hen uitsluitend beziet als inrichtingen waar medisch onderwijs wordt gegeven.

Zij hebben een veel belangrijker opdracht, omdat zij tevens zijn therapeutische modelinrichtingen voor hun omgeving.

Blijf ik bij het voorbeeld Utrecht, dan vindt men er naast elkaar onderwijsklinieken voor interne geneeskunde, obstetrie, chirurgie, neurologie en psychiatrie, oor- neus- keelziekten, huid- en geslachtsziekten, laboratoria voor pathologische anatomie en hygiene. Die voor oogziekten en kinderziekten liggen wat verder af.

Deze inrichtingen zijn door een zeer innige samenwerking in een „unit-system" vereenigd. Dagelijks zijn er onderlinge consultaties. Elke nieuw opgenomen patient komt door die samenwerking in de gelegenheid om door goede geneesheeren op elk speciaal gebied onderzocht te worden.

Die cités medicales werpen groot voordeel af.

De keerzijde er van was, in den aanvang, dat dit „unit-system" weêr alleen ten goede kwam aan kosteloos opgenomen patienten. Het stond dus zoo, dat alleen zeer ruime beurzen en de armlastigen zich de weelde konden veroorloven, van de aan gemeenschappelijk onderzoek verbonden voordeelen.

Om die reden heb ik al in 1915, in het voetspoor van mijn voorganger *Heilbronner*, gebroken met dit stelsel. Mijn onderwijs-kliniek is allereerst observatie-station, gratis opnemingen worden beperkt tot daar, waar het bepaald noodig is. Van elke patient wordt een naar draagkracht toenemend verpleeggeld geëischt dat nooit zeer hoog wordt en thans van f 2,50—f 10.— daags wisselt.

Het is ook meer gewenscht, dat ieder die gebruik maakt van de voordeelen der samenwerking op geneeskundig gebied, dit goede niet alleen betaalt in geld, maar ook met de verplichting om zich, zoo noodig, voor onderwijs beschikbaar te stellen. De ervaring heeft mij sedert 1915 geleerd, dat met eenigen tact, onderwijs gegeven met behulp van betalende patienten, *minder* bezwaren met zich brengt dat met behulp van kostelooze patienten. Verzetten zich de therapeutische belangen van zieken zich daartegen, dan valt het in beide gevallen weg. Het blijkt echter voor vele patienten een weldaad, als de hoogleeraar in een onderwijs-uur gedwongen is intensief zijn aandacht op een patient te concentreeren. Bijna altijd rijzen dientengevolge nieuwe gezichtspunten op, die later worden uitgewerkt en herhaaldelijk van nut bleken te zijn.

Voor de studenten eindelijk is het een zegen, als zij in hun studietijd patienten uit alle maatschappelijke kringen te zien krijgen.

Deze wijze van doen is ook veel humaner dan die, welke alleen onderwijsklinieken voor armlastigen kent.

Het „unit-system" komt er door in het bereik van alle standen. De klinieken, observatie-stations, worden om die reden nooit verkapte armenhuizen, waar chronische zieken hun winterkwartieren komen betrekken. Er behoeft niet langer te worden getoornd tegen een stelsel, waarbij menschen als onderwijs-materiaal worden gebruikt, tegen hun wil. Wie niet wil, komt niet in de kliniek, maar wie er eenmaal kwamen,

hebben wel begrepen waarom het gaat en keeren weer.

Daarmee verdwijnt tevens het bezwaar, dat onderwijsklinieken zoo schreeuwend duur zijn. Dit is zeer opgeschroefd. Voor mijn kliniek met een materieel-subsidie van *f* 90.000 werd in 1923 ± *f* 70.000 aan verpleeggelden bij den Rijksbetaalmeester teruggestort, sinds 1917 is deze regelmatig stijgende terugstorting meer dan verdriedubbeld.

De tweede ontwikkelingsperiode van *Sir Humphry* voegt dus bij de oude, goed verzekerde draagzuilen voor het gebouw der geneeskunde — een nieuwen, van hen onafhankelijken, volkomen zelstandigen pijler — de klinische pathologie.

Daardoor staat het steviger dan ooit bevestigd. Aan de geneeskunst schenkt zij een gelouterd inzicht in de ziekteverschijnselen, de vruchten van de verdeeling van den geneeskundigen arbeid over vele personen, hun samenwerking tot één doel in de onderwijsklinieken, en daarmee de mogelijkheid om een rationeele therapie bereikbaar voor iedereen, door te voeren.

Zoo uitgerust kon men verder werken. Want nog is het gebouw der geneeskunde, zooals het thans is geworden, niet volledig beschreven.

Nu eerst, nadat men de taak der geneeskunst steeds scherper had leeren omlijnen, begon men beter te begrijpen waarin men te kort schoot.

De zegetocht der moderne chemie, de aan het wonderbaarlijke grenzende vruchten der moderne electriciteitsleer, hervormden niet alleen onze samenleving, zij openen ook nieuwe horizonten voor de geneeskunde.

Het scheen aanvankelijk alsof die invloed niet meer zou brengen dan een uitbreiding van het gebied der physische en chemische kenteekenen van ziekten. Maar weldra bleek het, dat evenals zich van de leer der weefselveranderingen

de klinische pathologie had afgesplitst, ook op dit gebied een eigen wetenschap zou ontstaan: de leer der functioneele veranderingen.

De geneeskunde kwam in het laatste decennium te staan in het teeken der chemie en der electro-physica.

Met behulp der verbeterde chemische hulpmiddelen kon men soms al belangrijke veranderingen in de samenstelling van bloed, lumbaalvocht, urine, fæces aantoonen.

Normale verhoudingen waren er niet, maar was de drager er van ziek?

Ik zal maar een voorbeeld noemen. Ieder gewoon mensch heeft suiker in zijn bloed. Het is noodig voor zijn stofwisseling. Het organisme houdt de hoeveelheid suiker op een bepaald bedrag. Na elken maaltijd, ook na toevoer van glucose, stijgt die hoeveelheid tijdelijk, en niet boven een bepaald niveau. Een paar uur later is de suikerspiegel in het bloed weer normaal. De gewone mensch kan gemakkelijk 50—100 gram glucose opeten, zonder dat de bloedsuiker-spiegel zoo hoog komt, dat er suiker in de urine overgaat. Nu gebeurt het echter, na een maaltijd met 50 gram glucose, dat de suikerspiegel ver boven het toegelaten maximum stijgt, dat er suiker in de urine overgaat, en dat het veel te lang duurt eer het organisme het bloedsuikergehalte weer terug brengt op de gewone hoeveelheid. Soms kan dus de geneesheer, lang voordat de latere lijder aan suikerziekte zich ziek voelt, het bestaan eener stofwisselingsabnormaliteit bij hem aantoonen. Merkwaardigerwijze wordt diezelfde stofwisselingsabnormaliteit gevonden bij bepaalde zeer ernstige vormen van psychosen, bij de dementia præcox.

Ook langs geheele andere wegen mocht het der chemie gelukken zeer vroegtijdig het bewijs te leveren, dat het organisme reeds begonnen is met zijn verweersmiddelen.

Na syphilis-infectie begint het organisme afweerstoffen te

produceeren. Door complement-binding in bloed en lumbaalvocht wijst de chemie ze aan. Het blijkt tevens, dat daarbij het lumbaalvocht bizondere eigenschappen kan krijgen. Er komen globulinen in voor, het gedraagt zich colloid-chemisch op zeer bizondere wijze tegenover goud- en mastix-suspensoiden. Zulke afwijkingen kunnen er reeds lang zijn, ondanks volkomen welbevinden van den lijder en zonder dat er nog andere teekenen van ziekte zijn.

Toch heeft de geneesheer een sterke verdenking, dat de man, die deze afwijkingen vertoont, lijder is aan dementia paralytica.

Het is een algemeen verbreide dwaalleer, dat het voor een medicus verdrietig moet zijn, telkens ontboden te worden voor zoogenaamde kleinigheden, terwijl hij toch zooveel groot werk te doen heeft. De geneesheer kent geen kleinigheden. Uit kleinigheden bouwt zich het allerergste op. Het streven, om zoo vroeg en zoo nauwkeurig mogelijk zelfs geringe functioneele afwijkingen te leeren kennen, steunt op die gedachte.

Zij noopt ons, tot de poging om kleine afwijkingen in een maat uittedrukken. Electrische meetinstrumenten waren al lang ingevoerd.

Maar nu brengt de electro-physica ons buitengemeen gevoelige instrumenten. *Einthoven's* ontdekking van den snaargalvanometer maakt ons de electrische veranderingen, die zich in het lichaam afspeelden, zichtbaar. Hij ontleedt er mee de electrische veranderingen, welke de hartsrevolutie vergezelden.

De studie er van brengt een algeheele hervorming in de leer der hartziekten, waaraan ook de namen van *Wenckebach* en *Mackenzie* verbonden zijn.

Ook deze hervorming gaat uit van de herkenning der allereerste functie-stoornis, lang voordat de ruwe physische teekenen van vroeger, naar bepaalde weefselveranderingen wijzen.

Naarmate de snaargalvanometer meer bruikbaar werd voor de kliniek, wierp zij nieuwe vruchten af, toen *Veraguth* aantoonde, dat een aantal psychische gebeurtenissen gepaard gaan met aantoonbare electrische veranderingen.

Het zal nog wel lang duren eer zelfs de elementaire kennis der psycho-galvanische reacties begrepen is.

Ook daar wordt het zoeken naar de alleerste functioneele afwijkingen.

Nog opmerkelijker was de invloed, die de ontdekking van Röntgen op de ontwikkeling der functieleer had. Een geheel nieuw veld van onderzoek, de Röntgenologie, ontstond, hier te lande onder de uitstekende leiding van mijn te vroeg ontslapen vriend *Wertheim Salomonson*. Welk een hervorming bracht zij niet te weeg. Spoedig was, en dit kon niet anders, elke kliniek in het bezit van een, op eigen behoeften ingestelde, Röntgen-installatie.

De internist bestudeerde er tijdens het leven mee, hoe de door barium voor Xstralen zichtbaar gemaakte spijsbrok, in de ingewanden werd voortbewogen en welke stoornissen daarbij werden waargenomen. De röntgen-foto van de borstkas leerde hem met zekerheid ziekte-processen kennen, die door het vroegere physisch onderzoek volkomen verborgen waren gebleven. De chirurg deed er de meest onverwachte ontdekkingen mee.

Nog onlangs demonstreerde prof. *Lameris* mij, aan een serie Röntgeno-grammen, dat een breuk door het gewricht met afsplitsing van een groot stuk been bij een jongmensch, door aanpassing der natuurlijke verweersmiddelen eindigen kon met een nagenoeg normaal gewricht en volkomen resorbtie van het afgespleten stuk.

Bovendien bleken Xstralen een bizonderen invloed te kunnen uitoefenen. Zij konden op de weefsels ontegenzeggelijk sommige nieuwvormingen in hun groei stuiten. Zij konden bepaalde

celfuncties, bijv. die der geslachtscellen zeer snel vernietigen.

Helaas weten wij van de stralen-inwerking op de weefsels nog bitter weinig en worden tot de uiterste voorzichtigheid gedrongen, omdat dezelfde Xstralen zeer moeilijk genezende huidzweren in het leven kunnen roepen.

Ik zou met deze opsommingen uren kunnen voortgaan. Genoeg echter om te demonstreeren, dat door de studie der algemeene functie-stoornissen op nieuw een pijler aan het gebouw der geneeskunde wordt toegevoegd. Toen, in den aanvang van het door mij geschetste tijdvak, nauwlijks meer dan een leer van orgaanziekten bestond, toen de localisatie-leer à outrance onbeperkt heerschte, zag men in, dat alle organen in een harmonisch verband stonden, dat overal naast localiseerbare functies ook samenvoegende niet localiseerbare functies werden aangetroffen.

Dit inzicht hervormde en daarmee zal ik eindigen, niet het minst de leer der steeds functioneel genoemde, neusolen en psychosen.

Ook op dit gebied is eenzelfde streven waarneembaar. De poging om den invloed van uitwendige schadelijkheden op ons psychisch leven te analyseeren is het uitvloeisel er van. In de eerste plaats geldt dit voor gemoedsbewegingen. Onder leiding van een geniaal man, *Sigmund Freud*, beproeft men, door psycho-analyse van onze bewuste functies een inzicht te krijgen in de niet bewuste verrichtingen van het orgaan der betrekkingsverrichtingen en zich een oordeel te vormen van de wisselwerking tusschen bewuste en niet bewuste functies.

Welbekend is het, dat ik zeer skeptisch tegenover de methoden dezer leer gestemd ben en aan haar toekomst niet geloof. Toch eischt de billijkheid te erkennen, dat velen deze leer een groote aanwinst achten voor de geneeskunst en dat zij, vooral in Amerika, buitengemeen grooten bijval heeft gevonden. Veeleer acht ik een andere poging in die richting

van groot belang. Door mijn vriend en tijdgenoot *Constantin von Monakow* in Zürich is beproefd om in een algemeene functieleer, de wel en niet localiseerbare functie in een harmonisch geheel op te lossen. Dat daarbij niet langer de te eenzijdige associatie-psychologie op den voorgrond staat, spreekt van zelf. Maar dat door invoeging van de functies van het autonome zenuwstelsel en der endocrine organen, getracht wordt ook de rol der affecten en gemoedsbeweging in het functioneele geheel te bepalen is nieuw en vruchtbaar. Misschien wordt daarmee een nieuwe ontwikkelingsperiode der geneeskunde ingeluid.

HET WERELDSTELSEL NAAR DE NIEUWSTE ONDERZOEKINGEN

DOOR DR. C. EASTON

Wie de historische ontwikkeling onzer kennis van het wereldstelsel overziet, wordt ervan doordrongen dat de vooruitgang der wetenschap voor een goed deel berust op wantrouwen in onze zintuigen. Wij zien wat niet is: de schijnbare inrichting der wereld is in strijd met de waarheid; daarentegen zien wij niet, wat is, want van het sterrenstelsel zooals de jongste astronomische onderzoekingen ons dat openbaren, zouden wij slechts een onbeteekenend deel kunnen waarnemen indien ons oog niet door krachtige teleskopen, fotografische kijkers en groote spectroskopen, ons verstand niet door het machtige hulpwerktuig der hoogere wiskunde werd bijgestaan.

Toch mogen wij er trotsch op zijn, dat de menschelijke gedachte in staat is geweest, een beeld van deze onzichtbare wereld te ontwerpen, zoodat wij ons de algemeene trekken van ons sterrenstelsel met bijna evenveel zekerheid kunnen voorstellen, als de hemelfotografie ons de gedaante der groote nevelvlekken onthult. Ontzaglijk veel blijft nog in te vullen, want het wereldbeeld dat onze tijd zich vormen kan, is slechts uiterst schetsmatig, het staat echter op vasten grondslag: de tijd waarin losse bespiegelingen even hoog geschat werden als moeizaam verkregen ervarings-uitkomsten, is voor altijd voorbij.

Intusschen mag dit gevoel van zelfvoldoening ons niet ver-

leiden, laag neer te zien op een Oudheid die, op kunstgebied in menig opzicht nooit overtroffen, op wetenschappelijk terrein alleen stelsels heeft opgebouwd die ons vaak een glimlach afpersen om hun naïveteit, of de vraag doen oprijzen hoe het mogelijk was dat ook de scherpzinnigste menschen uit dien tijd zich zoo lieten bedriegen door den schijn. Het zijn vooral de waanwijze schoolboekjes, waardoor ons geslacht tot een zoo onbillijke beoordeeling gebracht wordt. Niets lijkt bijv. eenvoudiger en overtuigender dan de bewijzen voor den bolvorm van de Aarde, die, netjes op een rij en bovendien geïllustreerd, op de eerste bladzij van ons kosmografieleerboek te vinden waren. Men kan wel is waar achteraf gemakkelijk de jeugd overtuigen, nu zooveel takken van natuurwetenschap hun „errungenschaften" tot gemeen goed hebben gemaakt; zoo vanzelfsprekend is dit alles echter niet. Een enkel voorbeeld. Het is volkomen juist dat de schepen die men, aan 't strand staande, ziet aankomen of vertrekken, op grooten afstand slechts hun masten en zeilen vertoonen, omdat de romp door de kromming der aarde voor ons oog verborgen wordt; zonder kijker is echter, aan den dikwijls wazigen gezichtseinder, dit verschijnsel wel nimmer duidelijk waar te nemen, en overigens woonden de volkeren van Mesopotamië niet vlak aan zee, en evenmin de Egyptenaren. Bovendien schijnt van een hoog duin of rots beschouwd, de zee- of een zandvlakte eerder hol dan bol, want de kim schijnt mêe naar boven te gaan, naarmate men stijgt (wat aan luchtreizigers een merkwaardig gezichtsbedrog geeft). Deze waarneming schijnt dus met de vorige in strijd, en in twijfel zal men zich onthouden hebben, over den eigenlijken vorm van het aardoppervlak — dat, behoudens bergen en dalen, over 't geheel als vlak *gegeven* is — verder na te denken.

De eerste die den bolvorm der Aarde leerde, hij moge dan de half-legendaire Phytagores zelf geweest zijn, of, even

waarschijnlijk, een zijner leerlingen, was dan ook een geweldig revolutionair. Wij kunnen ons niet beter voorstellen, hoe vermetel deze eerste groote stap van schijn naar werkelijkheid was, dan door ons af te vragen, wat een ongeschoold en onontwikkeld mensch zelfs in onzen verlichten tijd wel antwoorden zou als men hem vertelde dat indien de Aarde van geheel doorschijnend glas ware, wij de Australiërs zouden zien loopen met de zolen van hun schoenen tegen de onze, en juist in de positie van de vliegen tegen ons plafond. De rondheid der Aarde is ook op den duur wel door de meeste Grieksche wijsgeeren aangenomen — de evidentie ervoor werd, naarmate de kennis zich veelzijdig uitbreidde, te groot om het tegenovergestelde te verdedigen — maar er zijn toch altijd in de oudheid mannen van naam geweest (Epicurus, Lucretius), die zich hielden aan de voorstelling der platte Aarde, en de kerkvaders, tot Thomas Aquinas toe, dachten er niet anders over. En sommigen beschouwden de Aarde liever niet als een bol, maar als een vrij zwevende schijf of wals, en buiten het oude Griekenland en zijn koloniën in Italië en Klein-Azië — wat de Romeinen betreft, zij hielden zich met deze afgetrokken bespiegelingen weinig bezig — vormde men zich nog primitievere voorstellingen van het samenstel der wereld. Men kan over 't algemeen zeggen dat een beschavingsperiode die kosmografie heeft, welke bij haar *gemiddelde* ontwikkeling past. Pythagoros en enkele anderen waren hun tijd vooruit; daar echter het experiment niet beoefend werd, de kritische methode weinig aanhang vond, er nog geen „officieele wetenschap" bestond en bovendien godsdienstige opvattingen reeds in dien ouden tijd de vrijheid van onderzoek in kosmische zaken niet zelden belemmerde, bracht een nieuwe juiste opvatting het niet makkelijk tot algemeene erkenning. De „Scholen" bleven bestaan naast elkaar, elk discipel mocht vasthouden aan de hem onder-

wezen leer; en bij een beroep op den Meester, die 't immers zelf gezegd had: „autos efa", was er geen reden waarom de eene autoriteit de vlag zou strijken voor de andere.

Zoo zien wij de Grieksche opvattingen van het wereldstelsel nu eens een stap vooruit doen, dan weer een stap terug. Het stelsel van den Pythagoraeër Philolaos, (450 v. Chr.) een der weinige uit de Oudheid waarover wij met eenige zekerheid ingelicht zijn — ook in dit geval toch nog uit de tweede hand — was ongetwijfeld een groote stap vooruit. Voor 't eerst wordt de Aarde niet in het midden van het heelal geplaatst, zelfs wordt haar een wenteling toegeschreven, zij 't slechts een geringe en zeer eigenaardige; hoe dat zij, de Aarde was niet langer vanzelfsprekend in rust. In het midden van de Wereld bevindt zich volgens Philolaos het centrale vuur, de Hestia, daaromheen wentelt de Aarde, maar tusschen Aarde en Vuur draait nog een „tegen-Aarde", Antichthoon, in dier voege dat deze altijd de rechtstreeksche straling van het Vuur opvangt, zoodat de aardbewoners slechts indirect iets van het bestaan der Hestia kunnen weten. Wellicht is de oorsprong van dit eigenaardige denkbeeld te zoeken in de vuurspuwende bergen van Zuid-Italië, de eenige op het vasteland van Europa, want dit stelsel is waarschijnlijk in een der Italiaansche Koloniën bedacht. Voor het aannemen der „tegen-Aarde" was er intusschen nog een andere, een heel bijzondere reden. De Pythagoraeërs namen aan, dat de hemelsche sferen om het middelpunt der wereld wentelden: behalve de Aarde waren er die van de Maan, de Zon, Mercurius, Venus, Mars, Jupiter en Saturnus, voorts de buitenste hemelsche of sterren-sfeer die het Al omvatte — zoo komen we echter slechts tot negen sferen, en tien was een veel volkomener getal, dat beter paste bij de volmaaktheid der vlekkelooze en eeuwige hemelen: dies vervulde een tegen-Aarde ook de rol, een heilig getal te

vormen. De oude opvattingen en ten deele nog die der middeleeuwen, tot en met Coppernicus, zijn doortrokken van zulke overwegingen die berusten op de noodzakelijkheid van harmonie en volkomenheid bij al hetgeen zich boven het ondermaansche verheft.

Dit „Onder-Maansche" is een begrip uit de leer van Aristoteles, tot den huidigen dag overgebleven in ons spraakgebruik. De wetenschap, de leer en het stelsel van Aristoteles (384—322 v. Chr.) hebben niet enkel het grootste deel der Oudheid beheerscht; ze verloren eigenlijk pas met de opkomst der moderne natuur- en sterrenkundige wetenschappen, in den aanvang der zeventiende eeuw, hun machtige greep op de beschaafde menschheid. Toch was het kosmologische stelsel van Aristoteles — grootendeels Eudoxus nagevolgd — astronomisch beschouwd een droevige stap terug. De Hestia en de Antichthoon der Pythagoraeërs verdwijnen, maar tevens gaat daarmee het begrip der bewegende Aarde teloor; deze herneemt haar oude overwegende plaats als het middelpunt van al het bestaande. De eenige concessie die Aristoteles' systeem aan de oudere en veel juistere opvattingen doet, is dat de Aarde nog steeds bolvormig wordt gedacht. Ze verkeert echter in rust. Deze volstrekte rust van het Aardsche is juist een kenmerk der Aristoteleïsche opvattingen: omdat al wat zwaar en donker is, naar het middelpunt der wereld toe valt, heeft zich daar een nagenoeg ronde opeenhooping gevormd van zware stoffen, die wij als Aarde kennen. Het aardsche gebied bevat nog den zwaren dampkring en een lichtere lucht, tot aan de betrekkelijk nabije sfeer van de Maan; dit is het Onder-Maansche, de eerste sfeer met de vier elementen, met veranderlijke en vergankelijke vormen. Daaromheen, in hooger regionen, strekt zich de kosmische sfeer uit, waarin de planeten wentelen met eenparige bewegingen, onberispelijk rond, onvergankelijk, ten halve hemelsch.

De sfeer der gelukzaligen, waarlangs de sterren vastgehecht zijn, ligt nog daarbuiten; ze vormt het volstrekt hemelsche, het primum mobile, het eerst (door den Schepper) bewogene, dat in zijn harmonischen loop alle andere sferen meesleept . . . Grootschheid is aan dit wereld-beeld van Aristoteles niet te ontzeggen, voorts heeft het dit voordeel dat het de inmiddels ontluikende natuurkunde in het middelpunt der belangstelling plaatst, want de Aarde en het aardsche blijft toch het voor-de-hand-liggende, de beste materie van onderzoek. Intusschen is het jammer dat het welhaast onaantastbare gezag der leer van Aristoteles de juistere sterrenkundige denkbeelden, die nu en dan opkwamen, onderdrukte: aldus de ons slechts indirect bekende voorstelling van Aristarchos van Samos, die reeds de Zon plaatste in het centrum van het stelsel en de Aarde terugbracht in de rij der planeten.

Dat Appollonius van Perga en anderen stelsels van excentrieken en epicycles bedachten om het grillige heen en weer schuiven der planeten aan het hemelgewelf althans eenigszins in overeenstemming te brengen met een theorie die gelijkmatige omwentelingen in volmaakt cirkelvormige banen aan die hemellichamen toeschreef, kan tegenwoordig nog slechts matig onze belangstelling wekken. Al dat gekunstelde interesseert ons niet meer. Het vernuft dat aan het uitdenken van zulk een uiterst gecompliceerd stelsel besteed werd, hield den vooruitgang tegen. Want de praktijk *scheen* — voor de nog zéér ruwe plaatsbepalingen in de Oudheid en de Middeleeuwen — in voldoende overeenstemming met de theorie: Ptolemaeus kon, gebruik makend van de 300 jaar te voren door Hipparchus verrichte waarnemingen, zóó goede tafels opmaken voor zijn Almagest[1]), dat zijn tijdgenooten dit werk

[1]) De naam „Almagest" voor de Megalè Suntaxis, het hoofdwerk van Claudius Ptolemaeus, is ontstaan door een verbastering van de Arabische benaming: Fabrir al magesthi = al megistos: het grootste, belangrijkste (boek).

onverbeterlijk achtten en er niets aan wilden veranderen. Door de Arabieren werd dit monument der Oudheid naar Spanje overgebracht, en vandaar uit beheerschte het de gansche middeleeuwen. Men kan nog een paar namen noemen van hen die, bij den aanvang van de Renaissance, twijfelden aan de gegrondheid der oude, overgeleverde opvatting van het wereldstelsel — Leonardo da Vinci, Nicolaas van Cusa — de nieuwe tijd begint toch eerst met Coppernicus.

Juister zou 't zijn, te zeggen dat de kanunnik van Frauenburg de laatste der klassieke astronomen was, en dat hij den weg effende voor de moderne wereldbeschouwing, door het beste wat de Renaissance op dit gebied had bijeengebracht uit de oude cultuur, met nieuw leven te bezielen: het stelsel van Aristarchos. Wij weten, door een los woord van Archimedes, dat Aristarchos niet maar enkel terloops de leer verkondigde dat de Zon in het midden van de wereld staat, doch dat hij er een boek over schreef; dit is echter, evenals zooveel merkwaardigs uit de klassieke oudheid, verloren gegaan. Coppernicus' groote verdienste was dus niet, dat hij het nieuwe systeem bedacht — want hij zelf noemt nadrukkelijk eenige Pythagoraeërs en andere voorloopers, al releveert hij niet wat hij juist aan Aristarchos dankt — maar dat hij dit denkbeeld uitwerkte, aan de waarnemingen toetste en de voortreffelijkheid ervan boven de gangbare meeningen overtuigend bewees. En het was voorwaar geen kleinigheid — een daad van moed bovendien — zóó het Gezag af te breken dat zich tweeduizend jaren lang bijna onbetwist had weten te handhaven.

Men denkt nog al eens, dat het zonnestelsel naar Coppernicus' opvatting vrijwel geheel overeenkwam met het stelsel zooals wij het tegenwoordig kennen, maar niets is minder waar. Alleen de hoofdzaak — de Zon in 't midden, de Aarde een planeet — hebben beide gemeen, maar dit kan ook

reeds van Aristarchos' stelsel gezegd worden. Hoe groot de verschillen zijn met het systeem dat in „De Revolutionibus Orbium Coelestium" (1543) wordt uitgewerkt, beseft men door te bedenken: 1^0. Coppernicus liet zijn planeten in cirkels loopen. 2^0. Ze liepen met eenparige snelheid. 3^0. Hij had geen begrip van de onderlinge afstanden, alleen van de volgorde waarin de banen om de zon heen liggen. 4^0. Hij wist niets van de betrekking tusschen afstanden en omloopstijden. 5^0. De wet der zwaartekracht, die de verklaring geeft van het systeem, was hem onbekend. 6^0. De planetoïden, tusschen Mars en Jupiter, ontbreken in zijn systeem; evenzoo de satellieten-stelsels, behalve het stelsel Aarde-Maan. 7^0. Van periodieke kometen en meteorieten-zwermen was nog niets bekend. 8^0. De ontdekking van Uranus en Neptunus heeft ons zonnestelsel ontzaglijk uitgebreid. — Het was voorbehouden aan Kepler, die van Tycho Brahe's voortreffelijke waarnemingen gebruik kon maken, en aan Newton, om Coppernicus' stelsel theoretisch tot een éénheid te maken, Herschel, Piazzi, Leverrier en zoovelen anderen brachten het tot zijn tegenwoordige volmaking, die intusschen, ook na al het werk van Laplace, Tisserand, Newcomb, De Sitter e. t. q., zelfs thans nog maar betrekkelijk is.

Voor Coppernicus en zijn tijdgenooten was het begrip wereldstelsel vrijwel synoniem met zonnestelsel. De sterrensfeer verschafte met zijn, onderling onbeweeglijke gedachte, vaste lichtjes, slechts zeer gemakkelijke uitgangspunten voor het meten van de beweeglijke hemellichamen, in de eerste plaats van de planeten. Dit kon ook eerst anders worden nadat de 18e en vooral de 19e eeuw een massa materiaal, dat hoe langer hoe nauwkeuriger werd en steeds beter geordend en bewerkt, verschaft had, waardoor de „vaste" sterren in het wereldstelsel konden opgenomen worden. Toen werd het de beurt van de Zon, om de Aarde te volgen en de bevoorrechte positie

als middelpunt der wereld te verlaten: onze Zon werd slechts een ster, de gelijke, de mindere veelal, van milliarden andere sterren welke tesaam het sterrenstelsel vormen dat wellicht nog niet eens het wereldstelsel genoemd mag worden.

Intusschen zag de achttiende eeuw tal van speculatieve beschouwingen ontstaan. Kepler (in zijn Epitome), Huygens (Kosmotheoros) en Fontenelle (Pluralité des mondes habités) kunnen als voorloopers worden beschouwd, er verliep echter nog meer dan een halve eeuw voordat, in het jaar 1750, Thomas Wright uit Durham, in een zeer zeldzaam geworden boek, de stelling verkondigde en toelichtte, dat het melkwegverschijnsel evengoed verklaard kon worden door een platte sterren-laag, waarin ook onze zon is opgenomen, als door een wijden sterrenring, waarbinnen onze zon zich bevindt. De filosoof Immanuel Kant en J. H. Lambert verkondigden, kort daarna, dergelijke denkbeelden, bij 't uitwerken waarvan zij misbruik maakten van het betoog door de analogie. Eerst William Herschel ging volkomen modern-wetenschappelijk te werk. Hij begon met door z.g. loodingen van den hemel (star-gauging) de aantallen sterren te bepalen die in alle verschillende richtingen door zijn grooten kijker gezien werden; bij de onderstelling dat de onderlinge afstanden van de sterren in de ruimte niet sterk verschillen en ze gemiddeld even helder zijn, konden aldus ook de afmetingen van ons „sterreneiland" worden berekend. Zoo ontstond de beroemde theorie van de gespleten schijf (cloven disc), als model van ons sterrenstelsel. Nog vóór zijn dood echter heeft Herschel zelf de onderstelling waarvan hij eerst uitging, verworpen: hij erkende door voortgezette waarneming, dat zulk een egale verdeeling der sterren in het stelsel niet bestaan kan, dat ze, integendeel, op vele plaatsen groepen vormen en somtijds zelfs opeengehoopt zijn, al zullen de onderlinge afstanden wel

steeds groot blijven. Tot een nieuwe theorie is William Herschel intusschen niet meer gekomen.

Het lag ook in den aard der ontwikkeling van de wetenschap, dat eerst vooral nauwkeuriger gegevens vergaard moesten worden, voordat het vraagstuk opnieuw met vrucht kon worden aangevat. Tal van factoren werkten na 1822, het jaar waarin Herschel overleed, samen, en op de gelukkigste wijze. Gauss en Bessel verbeterden de theoretische methoden, brachten de kritiek der waarnemingen en de eischen die aan de sterrenkundige waarnemingen gesteld moeten worden, op het zeer hooge peil dat ze tegenwoordig innemen. De toepassing van den stoom, later van de electriciteit, de verdeeling van arbeid ook en de heele inrichting van het industrieele grootbedrijf, maakten het mogelijk, de instrumenten tot een hoogen graad van volkomenheid te brengen: nog bij het leven van Herschel maakte Fraunhofer zijn eerste groote lenzen voor den heliometer. Het verkeer nam sterk toe en werd geregelder, hetgeen aan snelle uitwisseling der denkbeelden ten goede kwam. Groote ondernemingen werden in samenwerking opgezet: de noordelijke doorvorsching (Durchmusterung) van Argelander en Schönfeld gaf 325.000 vrij nauwkeurige sterrenplaatsen; de zuidelijke, aan David Gill en J. C. Kapteyn te danken, een nog veel grooter aantal. Voor deze laatste was het ruwe materiaal verschaft door de fotografie, die sedert het jaar 1881 een machtig hulpmiddel geworden is bij de bestudeering — en ook bij de populariseering — van de wonderen des hemels. Van nog grooter invloed echter was de toepassing van het spektroskopisch onderzoek op het sterrenlicht. Deze en andere nieuwe methoden van onderzoek gaven eindelijk een stevigen grondslag voor nieuwe onderzoekingen, die een oneindig hechter en meer betrouwbaar systeem konden doen opstellen.

Struve, Seeliger, Schiaparelli, Celoria en nog vele anderen

verrichtten op dit gebied belangwekkenden arbeid; Eddington, Schwarzschild, Hertzsprung, van Maanen, Pannekoek, Shapley brachten onze kennis door nauwgezette waarnemingen of stoute beschouwingen vooruit; allen worden echter overschaduwd door de groote figuur van den Groningschen hoogleeraar Kapteyn, wiens arbeid op het gebied der stellaire astronomie, naar het onverdachte getuigenis van deskundige Engelsche geleerden, de belangrijkste is geweest sedert Herschel. Reeds zijn gewichtige ontdekking (1905), dat de bewegingen der sterren in ons stelsel niet ordeloos zijn, maar voorkeur vertoonen voor twee richtingen, opende nieuwe banen van onderzoek. Ze werd weldra bevestigd door onderzoekingen van anderen, het werd onmiskenbaar dat alle sterren zich in twee stroomingen door elkaar heen schijnen te bewegen. In het jaar 1921, nog geen jaar vóór zijn dood, deed Kapteyn een verderen grooten stap. De slechts betrekkelijke orde, door hem gebracht in de bewegingen der sterren, voerde hij op tot een volstrekte: die twee nog ietwat mysterieuse sterrenstroomen bleken slechts de uitdrukking te zijn van een wervelbeweging, een asdraaiing, waaraan het geheele sterren (melkweg-) stelsel onderworpen is, en welker gemiddelde snelheid op verschillende afstanden van het centrum geschat kon worden. Was aldus een dynamisch systeem opgebouwd, ook de gedaante en de afmetingen van het stelsel zijn door onzen grooten landgenoot bepaald met een betrekkelijke zekerheid welke geen van de vroegere onderzoekers zelfs kon benaderen. Het staat nu vrijwel vast dat ons „sterreneiland" 50.000 millioen sterren bevat, die voor een klein deel veel sterker, voor een groot deel zwakker lichtend zijn dan onze eigen Zon. Deze staat op ongeveer 650 „parsecs", d.i. 2000 „lichtjaren" van dit melkwegcentrum, dat nagenoeg in de richting van het sterrenbeeld Cepheus moet worden gezocht. De zon ligt eenigszins, maar niet veel, ten noorden van het hoofdvlak

van het stelsel der langzaam rondwentelende milliarden zonnen; dit stelsel heeft den vorm van een lens welks grootste doorsnede 16.000 parsecs bedraagt, dus niet minder dan 50.000 lichtjaren; loodrecht op het hoofdvlak zal de doorsnede omstreeks vijfmaal geringer zijn.

Ter toelichting van de historische ontwikkeling der denkbeelden over het wereldstelsel, van den bouw van dit stelsel zelf, en van de plaats die behalve de sterren en de sterwolken van den melkweg, ook de sterhoopen en de lichtende en donkere nevelvlekken daarin vervullen, bracht de spreker ten slotte een aantal projecties op het doek.

DE LEER DER ATOMEN VOORHEEN EN THANS.

DOOR DR. D. COSTER.

Sprekende over de geschiedenis van de leer der atomen kan men moeilijk nalaten den naam van Democritus als den eersten noemen. Deze Grieksche philosoof leefde meer dan 400 jaar voor het begin van onze jaartelling. Veel van wat hij leeraarde behoort nu tot de grondslagen der natuurwetenschappen. Niets onstaat uit niets. Niets, dat bestaat, kan vernietigd worden. Alle verandering is slechts verbinding en scheiding der deelen. Niets geschiedt toevallig, maar voor alles is een oorzaak. Niets bestaat dan de atomen en de leege ruimte. — De consequente doorvoering van den laatsten stelregel toont meteen de zwakke zijde der oude atomisten. Zoo werd o.a. ook aangenomen dat de ziel uit gladde en ronde atomen bestaat, die bewegelijker zijn dan de andere en het heele lichaam doordringen. Er werd verder aangenomen dat er geen qualitatieve verschillen in de atomen bestonden, maar dat de verschillen in de dingen te danken zijn aan verschil in aantal, grootte vorm en rangschikking der atomen. Dit denkbeeld van een soort van indifferente oermaterie vinden wij steeds in de geschiedenis der atoomleer terug.

Van natuurwetenschappelijk standpunt is het zeker zeer te betreuren, dat de leer van Democritus door die van Aristoteles verdrongen werd. Aristoteles ontkende het bestaan van de leege ruimte en vatte de stof als een continuum op

Typisch voor den redeneertrant van dezen wijsgeer is zijn leer der 4 elementen. Op geheel willekeurige wijze werd aangenomen dat de vier subjectieve gevoelsindrukken warmte, koude, droogte en vochtigheid de vier hoofdeigenschappen der dingen uitmaken en door de combinatie dezer eigenschappen twee aan twee worden de vier elementen gekenmerkt: warm en droog is het *vuur*, warm en vochtig de *lucht*, koud en droog is de *aarde*, en koud en vochtig het *water*. Door verschillende combinaties der 4 elementen of wat op hetzelfde neerkomt der 4 grondeigenschappen ontstaan de verschillende stoffen. Het behoeft wel geen betoog dat een dergelijke theorie, die met grootheden werkt die niet voor meting vatbaar zijn, een niet zeer gunstige basis vormt voor een gezonde ontwikkeling der natuurkunde.

De overwinning van den christelijken godsdienst ging aanvankelijk met een grooten achteruitgang in de wetenschap gepaard. Bekend is de uitspraak van Tertullianus: wetenschappelijk onderzoek is na het evangelie niet meer noodig. De onstemming der eerste kerkvaders richtte zich vooral tegen de atomisten, vgl. de uitspraak van Augustinus: het ware mij liever, dat ik den naam van Democritus nooit gehoord had. Vooral in de late middeleeuwen evenals in het begin van den nieuwen tijd hield men zich wel met de praktische scheikunde bezig, dit evenwel zoo goed als uitsluitend om de kunst van goudmaken te leeren. Als basis der alchemistische theorieën diende een min of meer gewijzigde Aristotelische natuuropvatting.

Met den aanvang der moderne natuurwetenschappen in Galilei was ook weer de mogelijkheid gegeven voor een atomistische opvatting der stof. Den Engelschen natuurkundige *Robert Boyle* (1626—'91), komt de eer toe, deze het eerst klaar te hebben uitgesproken. Bij hem vindt men reeds de moderne opvatting van element d.w.z. een stof, die men niet

door een of andere behandeling weer tot andere stoffen kan herleiden. Hij spreekt ook duidelijk het verschil uit dat tusschen een chemische verbinding en een mengsel bestaat. Eerst ongeveer een eeuw later zegeviert zijn opvatting in de scheikunde door het werk van *Scheele, Priestley, Cavendish* en vooral *Lavoisier*. *Lavoisier* toonde aan dat bij elke chemische omzetting het totale gewicht der daarbij betrokken stof niet verandert en daardoor kreeg de grondstelling der atomisten dat de stof niet vernietigd kan worden noch geschapen een preciesen inhoud. Het was de Engelsche schoolmeester en autodidact *John Dalton* (1766—1844), die de atoomleer tot een machtig hulpmiddel in de zich snel ontwikkelende scheikunde maakte. Hij stelde eenige algemeene chemische wetten op, die het mogelijk maakten, de relatieve atoomgewichten te bepalen en hij probeerde ook reeds deze voor verschillende elementen vast te stellen. Door Avogadro werd het eerst een duidelijk verschil gemaakt tusschen wat we tegenwoordige atomen en moleculen noemen. Moleculen zijn de kleinste deelen der stof, die zooals de definitie luidt langs mechanischen weg niet verder zijn te splitsen. Een molecuul bestaat weer uit één of meer atomen. Deze atomen zijn onderling van dezelfde soort als we met een element te doen hebben, zij zijn van verschillende soort als we met een chemische verbinding te doen hebben. Zoo bestaat bijv. één molecuul water uit twee atomen waterstof en één atoom zuurstof. De leer der atomen was tot een buitengewoon vruchtbare werkhypothese in de scheikunde geworden en bleef dat tot op den huidigen dag. Dit neemt niet weg dat de scheikunde bereid was, deze leer onmiddellijk te laten vallen, als zich iets beters voordeed.

Door de kinetische gastheorie zooals die in het midden der 19e eeuw vooral door *Krönig, Clausius* en later door *Maxwell* en *Boltzman* ontwikkeld werd, werd aan de atomis-

tische opvatting der stof een meer reëele inhoud gegeven. De kinetische gastheorie stelde zich tot taak, de verschillende eigenschappen der gassen, zooals hun druk, de snelheid waarmede verschillende gassen in elkaar doordringen: de diffusie en de wrijving, die zij op voorwerpen die zich ten opzichte van het gas bewegen, uitoefenen, te verklaren uit de hypothese dat een gas bestaat uit moleculen, alle van dezelfde grootte en gewicht, die zich met groote snelheid door elkaar heen bewegen. Het is één der grootste triomfen van het menschelijk vernuft, dat dit gelukte niet alleen, maar dat men ook in staat was de grootte, het gewicht en het aantal der moleculen zoowel als hun snelheid te berekenen uit grootheden die men in het laboratorium kon meten, zooals diffusiesnelheid, wrijvingskracht en zoo meer. Als resultaat vond men dat zich in 1 c.M^3. lucht van atmosferischen druk en kamertemperatuur 28.10^{18} moleculen bevinden. Deze moleculen hebben een gemiddelde snelheid van ongeveer 500 meter per seconde, hetgeen ongeveer de snelheid is van projectielen kort nadat ze uit het modernste snelvuurgeschut weggeschoten zijn. Toch legt een molecuul in de lucht per seconde in rechte lijn gemeten in den regel een uiterst kleinen afstand af, daar het in dien tijd gemiddeld 5000 millioen maal tegen een ander molecuul botst. Leert ons de kinetische gastheorie aan den eenen kant dat het aantal moleculen ontzaglijk groot is, aan den anderen kant moeten we toch weer niet gaan denken dat dit aantal oneindig groot is. In deze fout zijn bijv. de homoeopathen wel eens vervallen die geneesmiddelen voorschrijven waarin de geneeskrachtige stof zoodanig verdund is, dat men — wanneer men een hoeveelheid van de oplossing nam die zooveel ruimte zou beslaan, dat de maan er in om de aarde zoo kunnen draaien, — nog niet eens zeker zou zijn dat er ook maar één molecuul van het geneesmiddel in aanwezig zou zijn. Een reminescentie aan

deze homoeopatische verdunningen bracht ons onlangs een krantenartikel waarin gewaagd werd van proeven die genomen zouden zijn om den invloed van koper- en ijzersulfaat op de groei van planten te demonstreeren. De aangegeven verdunning is zoo groot ($1 : 10^{30}$) dat er in ongeveer 30 kubieke meter gemiddeld één molecuul kopersulfaat aanwezig zou zijn!

Had dus door de successen der kinetische gastheorie de atoomleer een grooten steun gekregen, de twijfel ook in wetenschappelijke kringen aan de reëele existentie der atomen was daarmede nog niet uitgeroeid. Omstreeks het einde der 19de eeuw concentreerde zich deze twijfel vooral in den persoon van den grooten Duitschen chemicus *Wilhelm Ostwald*. Eén omstandigheid stond de volkomen zege van de atomistische opvatting in den weg en deze werd juist door de kinetische gastheorie geaccentueerd: de atomen zijn zóó ontzaglijk klein, dat een enkel atoom nooit direct door het menschelijk oog kan worden waargenomen. Om dit te begrijpen heeft men zich slechts af te vragen, waarop het „zichtbaar" zijn van een of ander voorwerp berust. Het licht is een soort van *golfbeweging* die vele punten van overeenkomst vertoont met de golfbeweging die we op een watervlak kunnen waarnemen. Ontmoeten de golven op het wateroppervlak een hinderpaal zooals bijv. een peiler van een brug dan ondergaan zij dientengevolge een verandering, zij worden *teruggekaatst*. Iets dergelijks gebeurt, wanneer de golfbeweging van het licht een hinderpaal op zijn weg ontmoet, en doordat het licht door de voorwerpen, die het op zijn weg tegenkomt wordt „teruggekaatst" zijn deze voor ons zichtbaar. De kinetische gastheorie leert ons nu, dat de afmetingen der atomen ongeveer duizend maal kleiner zijn dan de *golflengte* van het licht (d.w.z. de afstand tusschen twee „golftoppen"). Het is duidelijk dat het licht daardoor hoegenaamd geen hinderpaal

ontmoet door één enkel atoom evenmin als de golfbeweging in het water noemenswaard veranderen zal wanneer we een breinaald er loodrecht op het watervlak insteken.

We komen nu tot de laatste phase in de geschiedenis der atoomleer, die zeker niet de minst belangwekkende is en vol van dramatische spanning. De reëele existentie der atomen is in de laatste 30 jaar niet alleen één der onomstootelijke waarheden der natuurkunde geworden, maar tevens is het duidelijk geworden dat de materie per slot van rekening van electrische structuur is. Maar juist toen het succes bijna compleet scheen, stootte men op schijnbaar onoverbrugbare logische tegenstrijdigheden, die tot een debacle der natuurwetenschappen hadden kunnen leiden, wanneer niet het genie van *Niels Bohr* uitkomst gebracht had en ons tevens een dieper inzicht in het wezen der atomen gegeven als men vroeger ooit gehoopt had te zullen verkrijgen.

Als één der belangrijkste vorderingen op den weg ons door de kinetische gastheorie gewezen, wist *Einstein* ons het wezen der Browniaansche beweging te verklaren. Hieronder verstaat men de schijnbare ordelooze beweging die men bijvoorbeeld bij de vetbolletjes in de melk onder het microscoop kan waarnemen, welke beweging reeds meer dan 100 jaar geleden door de Engelsche plantkundige *Brown* ontdekt is. Men kan deze vetbolletjes als een soort van „moleculen" opvatten, vele 100.000 malen grooter dan de werkelijke moleculen der gastheorie, maar zich toch volgens dezelfde wetten bewegend. Uit de beweging dezer deeltjes, die men onder het microscoop kan bestudeeren, kan men dezelfde grootheden afleiden, die men zooals ik boven zei, uit de berekeningen der kinetische gastheorie vindt. Door de Browniaansche beweging wordt ons dus de beweging der moleculen als het ware „zichtbaar" gemaakt.

Van beslissende beteekenis was de studie der ontladingen

in verdunde gassen, de ontdekking der röntgenstralen en der radioactiviteit. Onder normale omstandigheden gedraagt een gas zich practisch als een isolator. In verdunden toestand evenwel geleidt het den electrischen stroom betrekkelijk gemakkelijk. Een studie der daarbij optredende verschijnselen, die we in de eerste plaats aan den Engelschen natuurkundige *J. J. Thomson* te danken hebben, toonde aan dat de atomen uit electrisch geladen deeltjes bestaan, positieve en negatieve, die zich in de ontladingsbuis van elkaar scheiden en die men onder de daarvoor gunstige condities elk op zichzelf bestudeeren kan. De negatieve deeltjes bleken, onafhankelijk van den aard der atomen, waarvan ze gescheiden worden, alle dezelfde massa en lading te hebben. De massa van de negatieve deeltjes, die we tegenwoordig algemeen electronen noemen is ongeveer $\frac{1}{1800}$ van de massa van het lichtste atoom: het waterstofatoom. Daarmede had men dus één der bouwsteenen, waaruit alle stof bestaat, ontdekt en zijn eigenschappen kunnen bestudeeren. De positieve deeltjes hebben dus bijna hetzelfde gewicht als de atomen van het gas, waarmede de ontladingsbuis gevuld is. Langs anderen weg was professor *H. A. Lorentz* tot de opvatting gekomen, dat vele electrische, magnetische en optische verschijnselen verklaard kunnen worden door aan te nemen, dat de atomen bestaan uit negatief en positief geladen deeltjes, die zich onder den invloed van electrische en magnetische krachten kunnen bewegen en het was een groote triomf voor de *electronentheorie*, toen *Zeeman* het naar hem genoemde effect ontdekte: de splitsing der spectraallijnen, wanneer de lichtbron in een magnetisch veld geplaatst is. Het bleek, dat bij de lichtemissie dezelfde electronen een rol spelen, waarvan men in de ontladingsbuis de eigenschappen kan bestudeeren.

Van niet minder belang was een nadere studie der radioactieve verschijnselen, waarbij vooral de Engelsche physicus

Ernest Rutherford een leidenden rol vervulde. Het is niet doenlijk in een kort bestek een historisch overzicht te geven van alle interessante resultaten waartoe men op dit gebied kwam. We zullen straks trachten in korte woorden een overzicht te geven van het beeld dat men zich in het begin der 20ste eeuw ook op grond van de radioactieve verschijnselen van de atomen gemaakt had. Eerst zou ik nog willen wijzen op de groote beteekenis van de ontdekking van *Laue* als bewijs voor de reëele existentie der atomen. Zooals boven uiteengezet werd zijn de enkele atomen voor ons niet zichtbaar omdat de golflengte van het licht, dat in staat is het netvlies van ons oog te prikkelen, veel en veel grooter is dan de afmetingen der atomen. Er zijn evenwel een soort van stralen waarvan de golflengte 1000 maal zoo klein is als die van het zichtbare licht, dit zijn de Röntgenstralen. *Laue* kwam op het gelukkige idee de Röntgenstralen te gebruiken om ons de atomen „zichtbaar" te maken. Reeds veel vroeger had men aangenomen dat de atomen (of moleculen) in een kristal op regelmatige wijze gerangschikt zijn en men had reden om te vermoeden dat de onderlinge afstanden van de atomen in het kristal ongeveer van dezelfde grootte zijn als de golflengte van de Röntgenstralen. Toen men nu een smalle bundel Röntgenstralen door een kristalplaatje heen liet vallen en het uittredende Röntgenlicht photografeerde verkreeg men een symmetrische „buigingsfiguur" met behulp waarvan men allerlei interessante conclusies kon trekken betreffende de rangschikking der atomen in een kristal en hun onderlinge afstand. Het bleek, dat in het kristal de atomen op een zeer symmetrische wijze gerangschikt zijn, die verband houdt met den uitwendigen vorm van het kristal. Zoo liggen bij het keukenzoutkristal, dat in een kubischen vorm kristalliseert, de atomen zóó gerangschikt dat zij de hoekpunten vormen van een net van kubusjes.

Men heeft zich, vooral geleid door proeven op het gebied der radioactiviteit, het volgend beeld van den bouw der atomen gevormd. De atomen bestaan uit positief geladen *kernen*, waaromheen zich negatief geladen deeltjes: de *electronen* bevinden. Alle electronen hebben dezelfde lading en dezelfde massa. De positieve lading van de kern is even groot als de som van de ladingen der electronen, die daarbij behooren. Op een grooteren afstand werkt het atoom dus als een ongeladen systeem. Voor de atomen der verschillende elementen is het aantal der elektronen dus ook de kernlading verschillend. Het waterstof, het lichtste atoom bestaat uit een kern die één positieve lading draagt en één electron, helium heeft een kern met een tweemaal zoo groote lading waarbij twee elektronen behooren, lithium heeft drie electronen enz. Het zwaarste atoom uranium heeft een kern met een lading 92 maal zoo groot als die van de waterstofkern en daarbij behoorend 92 electronen. De electronen dragen zoo goed als niet bij aan het gewicht van het atoom (het gewicht van een electron is ongeveer $\frac{1}{1800}$ van het gewicht van het lichtste atoom: het waterstofatoom). Het atoomgewicht wordt dus voornamelijk door het gewicht van de kern bepaald, hoewel de afmetingen van deze uiterst gering zijn. Atomen van hetzelfde element hebben alle dezelfde *kernlading*, maar lang niet altijd hetzelfde *gewicht*. Zoo weten we dat de kernen van het chlooratoom een lading dragen die 17 maal zoo groot is als die van de waterstofkern en dus heeft een normaal chlooratoom 17 electronen. Er zijn in de natuur evenwel twee soorten van chlooratomen, één dat ongeveer 35 maal zoo zwaar is als een waterstofatoom en één dat ongeveer 37 maal zoo zwaar is. Zij komen voor in een vaste verhouding van ongeveer 4 tot 1. Deze verschillende chlooratomen zijn wat bijna al hun chemische en physische eigenschappen betreft niet van elkaar te onderscheiden. Deze eigenschappen worden

dus in hoofdzaak bepaald door de *lading* der kern en *niet* door het *gewicht* van de kern. Uit de radioactieve verschijnselen weten we, dat de kern hoe klein ook, weer een ingewikkelde structuur heeft. Zoo bestaan de kernen der zwaardere atomen voor een deel weer uit heliumkernen (de α-stralen die door vele radioactieve atomen worden uitgezonden en die uit de kern van het atoom komen zijn op zichzelf weer heliumkernen en dragen een tweevoudige lading). Het merkwaardige is nu dat ook vele radioactieve elementen de z.g. β-stralen uitzenden. Dit zijn electronen, die uit de kern komen. De kernen zelf zijn dus weer opgebouwd uit positieve en negatieve deeltjes. Hierbij overtreft de positieve lading de negatieve zoodat de kern in totaal naar buiten als een positieve lading werkt. De hypothese is uitgesproken dat de kernen der zwaardere atomen dus ook de heliumkern ten slotte uit waterstofkernen en electronen zouden bestaan. Deze hypothese heeft wel veel voor zich, is evenwel nog lang niet tot zekerheid verheven.

Het beeld dat we zóó van de materie krijgen heeft wel zeer veel aanlokkelijks. De materie bestaat uit positieve en negatieve electriciteit die van een atomistische structuur is. De eigenschappen der atomen worden bepaald door een geheel getal: het *atoomnummer*, dat de lading van de kern en het aantal daarbij behoorende electronen aangeeft. De voorstelling die we ons van het atoom gemaakt hebben, heeft echter een nadeel: het is te eenvoudig: het stelt ons niet in staat rekenschap te geven van de verschillende eigenschappen der atomen. Wanneer we bijv. het waterstofatoom nemen dan weten we dat het bestaan moet uit een kern en één electron. Wanneer dit electron met de kern in evenwicht zal verkeeren moet het zich om de kern bewegen als een planeet om de zon. Maar hoe groot is de afstand van electron tot kern? A priori kunnen we daar niets over zeggen, we zouden

geneigd zijn te zeggen dat bij verschillende atomen alle mogelijke afstanden voorkomen. Maar dan zou een waterstofatoom niet iets gedefinieerds zijn, daar zijn eigenschappen natuurlijk van de straal van de baan die het electron beschrijft afhangen. Maar er is meer: de electronentheorie leert dat een electron zich maar niet straffeloos om een kern kan bewegen. Wanneer het dit doet straalt het volgens deze theorie electro-magnetische golven uit en valt in een spiraalvormige baan in de kern; waarom vallen niet alle electronen in de kern en krijgt men niet indifferente ongeladen atoomkernen, zonder eigenschappen behalve zwaarte inplaats van de atomen, zooals wij ze kennen? Dergelijke overwegingen wijzen er op dat de wetten, die gelden in de makrokosmos in de wereld der atomen geen geldigheid meer bezitten. Maar als deze wetten voor de kleine afmetingen der atomen niet gelden, wat geldt daar dan wel en zijn we dan nog in staat ook maar iets over de atomen te beweren, daar we tot nog toe altijd gewerkt hebben met de mechanische en electrodynamische voorstellingen zooals wij ze uit onze ervaring van de makrokosmos hadden gevormd? Het was de Deensche natuurkundige *Niels Bohr* die hier uitkomst bracht. De atoomtheorie door hem geschapen is nog verre van volledig maar de resultaten door haar bereikt zijn zoo verbluffend en de vergezichten die zij opent zijn zoo overweldigend dat men zonder overdrijving mag voorspellen, dat zij de natuurkunde nog gedurende langen tijd zal beheerschen. Het is hier slechts mogelijk zonder nadere motiveering in het kort eenige harer resultaten op te sommen.

Bij alle „normale" waterstofatomen loopt het electron op een cirkelbaan waarvan de middellijn een bepaalde grootte heeft (ruim $\frac{1}{100.000.000}$ c.m.) om de kern en het straalt daarbij geen lichtgolven uit. Wanneer een dusdanig waterstofatoom met een ander atoom botst dan zal in den regel na afloop van de botsing het waterstofelectron nog steeds op dezelfde baan

loopen, het heeft zich dus van de botsing niets aangetrokken. Is de botsing zeer heftig dan kan er een katastrophe plaats vinden: het electron wordt òf geheel van de kern weg geslingerd òf het gaat tijdelijk bijv. op een cirkelbaan loopen met 4-maal, 9-maal, 16-maal zoo groote middellijn. Na zeer korten tijd valt het uit zichzelf weer in zijn normale baan terug en zendt daarbij licht uit van een bepaalde golflengte (kleur). Is het electron geheel van de kern weggeslingerd, dan zal in 't algemeen een ander electron door de kern „gevangen" worden om weer een normaal waterstofatoom te vormen. Iets dergelijks geldt nu ook voor de andere atomen, met dit verschil dat daar meerdere electronen in het spel zijn. Deze electronen bewegen zich in allerlei verschillende banen om de kern. We kunnen evenwel nog groepen van banen onderscheiden. Zoo vindt men eerst een groep van 2 electronen, die vlak om de kern loopen in cirkelbanen, deze vindt men bij alle atomen behalve waterstof. Daarbuiten bewegen zich dan voor de zwaardere elementen een groep van 8 electronen, waarvan er 4 in cirkelbanen loopen en 4 in elliptische banen, daarna komt er een groep van 18 electronen enz. De allerbuitenste electronen zijn betrekkelijk gemakkelijk van de kern te verwijderen, zij spelen een groote rol voor de bepaling van de chemische eigenschappen van het atoom. Van de binnenste electronen merkt men veel minder, zij zijn zoo sterk aan de kern gebonden, dat het meer is of zij met deze een geheel uitmaken. Toch kan het wel eens gelukken zoo een binnenst electron er uit te schieten. Daarvoor heeft men echter zeer snelle projectielen noodig en dit zijn bijvoorbeeld de kathodestralen in de Röntgenbuis. De harmonie in de beweging is dan gestoord, maar slechts voor uiterst korten tijd: één der buitenste electronen neemt de plaats van het weggeschoten electron in, het atoom wordt van buitenaf door een vreemd electron aangevuld en alles is weer bij het oude.

Maar het proces verloopt niet zonder dat de buitenwereld er nader kennis van krijgt: een Röntgenstraal wordt door het aldus mishandelde atoom uitgezonden. *Bohr* was nu in staat de indeeling der electronen in groepen meer of minder nauwkeurig voor de atomen van alle elementen aan te geven en hierdoor was het mogelijk van allerlei eigenschappen der atomen rekenschap te geven. Zooals boven werd gezegd, hangen de chemische eigenschappen hoofdzakelijk af van het aantal, de banen en de rangschikking der banen van de buitenste electronen. Wanneer we dus twee elementen hebben, waarbij de buitenste groepen van electronen van het atoom groote overeenkomst vertoonen dan zullen deze elementen wat betreft hun chemisch en physisch gedrag zeer veel op elkaar lijken. *Bohr* kon bijvoorbeeld uit zijn theorie voorspellen dat het nog onbekende element met kernlading 72, een buitenste electronenconfiguratie moest hebben, die veel overeenkomst moest vertoonen met die van het bekende element zirconium; hetgeen door de ontdekking van het hafnium ten volle bevestigd werd. Andere even sprekende resultaten zijn reeds door de nieuwe atoomtheorie bereikt; maar veel is nog onbekend en onbegrepen. In zeer vele laboratoria in de wereld is men echter onvermoeid bezig te trachten de vele problemen, die de theorie van *Bohr* ons stelt tot oplossing te brengen en het is te verwachten, dat de toekomst ons hieromtrent nog vele verrassingen zal brengen.

CHEMIE EN STRALING.

DOOR H. R. KRUYT.

In deze voordracht zal niet in het algemeen de Photochemie behandeld worden, maar alleen de algemeene beteekenis, die photochemische problemen in den laatsten tijd gekregen hebben, dank zij de groote ontwikkeling van dezen tak van wetenschap; besproken zal n.l. worden *de invloed van de straling op de snelheid van chemische reacties.*

Reactiesnelheid.

Wanneer twee moleculen met elkander reageeren zullen, is het noodzakelijk, dat zij eerst met elkander botsen. De reactiesnelheid zal dus evenredig zijn met de botsingskans der moleculen en deze wordt beheerscht door de concentratie van elk der beide moleculen, hetgeen men algebraïsch kan voorstellen door

snelheid $= k c_A c_B$ of als $c_A = c_B$ snelheid $= k c^2$.

Bij een bi-moleculaire reactie is de snelheid dus evenredig met het kwadraat der concentratie. Men kan gemakkelijk afleiden, dat voor een tri-moleculaire reactie de snelheid evenredig zal zijn met de derde macht der concentratie, bij een quadri-moleculaire reactie met de vierde macht, enz. Het is dus begrijpelijk, dat voor een mono-moleculaire reactie de snelheid evenredig is aan de eerste macht der concentratie.

Deze grondslagen der reactiekinetiek zijn alreeds omstreeks 1890 experimenteel bevestigd, maar er zijn een aantal feiten, die niet verklaard kunnen worden, wanneer men de reactie-

snelheid alleen beschouwd van uit het gezichtspunt der botsingskans.

In de eerste plaats bevordert de temperatuur de reactiesnelheid veel sterker dan overeenkomt met den invloed, die zij op de botsingskans uitoefent. In de tweede plaats is niet in te zien wat botsingskans eigenlijk met een mono-moleculaire reactie te maken heeft. In de derde plaats is het milieu dikwijls van zeer grooten invloed op de reactiesnelheid en in de vierde plaats zijn katalytische verschijnsels geheel onbegrijpelijk van uit het bovenstaande gezichtspunt.

Katalyse.

Katalyse is, zooals bekend, het verschijnsel, waarbij een stof een reactiesnelheid vergroot, terwijl deze stof na afloop der reactie nog onveranderd aanwezig is. Men heeft wel gezegd, dat de katalysator klaarblijkelijk den "weerstand" voor de reactie verkleint, maar dit is niet meer dan een simpele vergelijking.

Intusschen valt op te merken, dat de katalyse de *orde* der reactie (mono-, bi-, tri-moleculair) onaangetast laat en hetzelfde geldt voor den invloed van temperatuur en milieu. Al deze factoren tot vergrooting der reactiesnelheid laten den gedachtengang der botsingskans dus intact, maar zij veranderen klaarblijkelijk de evenredigheidsconstante k uit de boven aangegeven betrekkingen.

Niet de botsingskans wordt veranderd door deze invloeden, maar „iets anders", dat bij de reactiesnelheid een rol speelt en dat de grootte der evenredigheidsconstante bepaalt.

Actieve vormen.

Als een mono-moleculaire reactie verloopt met meetbare snelheid, dan constateeren wij dus, dat op zeker moment sommige moleculen uiteenvallen en andere niet. Men kan

dus zeggen, dat er actieve en niet-actieve moleculen in het spel zijn.

Ook bij een bi-moleculaire reactie komt zoo iets voor den dag. Berekent men het aantal botsingen en meet men de gevormde reactieproducten per tijdseenheid, dan blijkt het eerste cijfer het tweede steeds verre te overtreffen. Enkele botsingen uit het geheele aantal leiden slechts tot een chemische vereeniging der reageerende moleculen; daarvoor is klaarblijkelijk de botsing van twee *actieve* moleculen noodig.

Het voorkomen van een molecuul in tweeërlei gedaante kennen wij in de organische chemie; het heet daar *tautomerie*. Men spreekt daarvan, wanneer twee verschillende molecuulvormen met elkander in bewegelijk evenwicht aanwezig zijn.

De moderne leer der atoom- en molecuulmodellen, doet ons dit verschil nog wat beter verstaan. Niet alle moleculen of atomen zullen n.l. in het algemeen in den toestand van grootst mogelijk evenwicht voorkomen. Enkele zullen steeds afwijkingen van het gemiddelde, dat den evenwichtstoestand voorstelt, vertoonen. Het is aannemelijk, dat juist deze niet in evenwicht zijnde vormen actiever zijn dan de andere. In het algemeen zal er energie toegevoegd moeten worden om een molecuul van den evenwichtstoestand in een actieven vorm te brengen. Deze energie komt tot uitdrukking als "actieveeringswarmte".

Thermodynamische overwegingen, die hier niet ontwikkeld kunnen worden, leeren, dat de samenhang van reactiesnelheid en temperatuur de onderstelling van een daadwerkelijke actieveeringswarmte wettigt.

Straling.

Trautz, Lewis en *Perrin* hebben nu theorieën opgesteld omtrent de beteekenis en het wezen dezer actieveerings-

warmte. Hun theorieën onderstellen, dat deze energie moet worden aangevoerd door middel van straling.

Scheikundige reacties, die verloopen onder invloed van het licht, kennen wij b.v. in de chloorknalgas-reactie en in het algemeen in wat wij noemen photochemische reacties.

Het verband tusschen chemisme en straling willen wij speciaal in de volgende gevallen bezien.

Een stof, die het verschijnsel van z.g. fluorescentie vertoont, heeft de eigenschap, dat zij onder invloed van licht een chemische verandering ondergaat, waarbij licht wordt afgestraald, waarvan de golflengte verschilt van die van het doorgelaten licht. Een fluoresceïne oplossing is daardoor geel in doorvallend licht, maar geeft zijwaarts groen licht af.

Onder chemo-luminescentie verstaat men het verschijnsel, dat bij een chemische reactie licht wordt uitgestraald (verbranding van phosphor). Fluorescentie is dus chemo-luminescentie, waarbij de reactie zelve reeds door straling veroorzaakt is.

Een ander verschijnsel, met de bovenstaande verwant, is phosphorescentie (z.g. lichtende verf b.v.).

Bij al deze reacties is steeds sprake van zichtbaar licht d.w.z. van stralingen met golflengten, die wij met het oog of, iets ruimer, met een orthochromatische plaat kunnen waarnemen. Wanneer in het algemeen zichtbaar licht is uitgesloten, spreken wij van duisternis, maar een donkere ruimte is nog gevuld met wat men noemt *donkere straling*.

Nu is de onderstelling der nieuwe theorieën over reactiesnelheid deze, dat elke reactie voor haar activeering een bestraling vraagt van zeer bepaalde golflengte, gekenmerkt b.v. door het trillingsgetal ν, terwijl anderzijds elke reactie een straling afgeeft van een evenzeer bepaald trillingsgetal, b.v. ν'.

Deze onderstelling maakt fluorescentie tot een zeer algemeen

verschijnsel, zij het dat daarbij niet altijd zichtbare straling in het spel is.

Daar dus bij elke reactie stralingsenergie opgenomen en afgegeven wordt, leeren wij de z.g. reactiewarmte als het verschil tusschen die twee energiehoeveelheden kennen.

Zoo heeft *Perrin* voor den overgang van zuurstof in ozon berekend een reactiewarmte van 62000 calorieën, terwijl in goede overeenstemming daarmede 65000 calorieën experimenteel gevonden is.

Men bedenke echter wel, dat voor deze berekening vastgesteld moet worden, wat het trillingsgetal der activeerende en wat die der afgegeven straling is. *Perrin* koos deze uit het absorptiespectrum van zuurstof en ozon, maar bij deze keuze heerscht een zekere mate van willekeur.

Men zou de vraag kunnen stellen, welke grond er eigenlijk is om een verband te leggen tusschen straling en de activeering van een molecuul.

Uit de moderne beschouwingen omtrent den bouw van molecuul en atoom weten wij echter, dat daarin electronen voorkomen, die zich in bepaalde banen rondom een kernlading bewegen. Er komen dus zekere periodieke bewegingen binnen het molecuul voor en men kan zich zeer goed voorstellen, dat door invallend licht al of niet resonnantie-verschijnsels te voorschijn geroepen worden.

In het licht van het bovenstaande begrijpen wij nu, waarom een monomoleculaire reactie zich niet explosief snel voltrekt, waarom de moleculen eigenlijk niet alle tegelijk uiteenvallen: immers de activeeringsenergie moet geleidelijk door straling worden toegevoerd en slechts naarmate deze toegevoerd wordt, schrijdt de reactie voort.

Wat de katalyse betreft, juist deze wordt in het licht dezer theorie veel begrijpelijker. Men kan zich immers voorstellen, dat een reactie niet of zeer langzaam verloopt, omdat een

straling met het trillingsgetal, dat voor de activeering noodig is, ontbreekt of slechts zeer spaarzaam beschikbaar is. Indien de katalysator nu fluoresceert in den zin, dat hij de beschikbare, doch voor de reactie ongeschikte straling, absorbeert en daarvoor in de plaats een andere, maar nu juist voor de reactie geschikte straling afgeeft, dan verkrijgen wij het begrip, dat de katalysator een transformator is tot levering van de geschikte stralingsenergie. Ook is het mogelijk, dat de katalysator een nevenreactie aangaat en dat hierbij als chemo-luminescentie straling van het geschikt trillingsgetal wordt afgegeven.

Ook de invloed van het milieu kan teruggebracht worden tot dien, welke dit ten aanzien der activeeringsstraling kan uitoefenen, hetzij omdat het beter doorlatend is voor de activeeringsstraling, hetzij dat hetzelve fluoresceert op een wijze, die de reactie bevordert. Ook de invloed van de temperatuur op de reactiesnelheid laat zich goed begrijpen, binnen het kader dezer theorie.

Vooral deze moderne opvatting van de katalyse bevordert het begrip van tal van verschijnsels. Men denke bv. aan de koolzuur-assimilatie der planten, welke, zooals bekend, onder den invloed van het zonlicht geschiedt. Toch is dat licht alleen niet voldoende om de assimilatie te bewerkstelligen, het levert dus klaarblijkelijk niet de geschikte straling. Het chlorophyl moet weer de rol van transformator spelen en de lichtenergie omzetten in een met geschikt trillingsgetal.

Intusschen mag niet verzwegen worden, dat de bovenstaande theorie niet altijd zoo mooi uitkomt als in het geval van zuurstof en ozon, waarover boven gesproken is. Vele malen leidt de berekening tot cijfers, die niet in overeenstemming zijn met de gevonden waarden. Soms ook is de hoeveelheid energie, die voor straling van een bepaalde golflengte geleverd kan worden, onvoldoende om het reactieverloop te

verklaren. Andere malen ontbreekt in het absorptiespectrum der reageerende stoffen de straling, die juist volgens de berekening voor de activeering vereischt wordt.

Men zou het bijna de natuur kunnen verwijten, dat zij niet de welwillendheid heeft te zorgen, dat een zoo fraaie theorie als deze uitkomt! Intusschen zou men zeer onverstandig doen door de theorie geheel te verwerpen op grond van het feit, dat zij niet altijd in kwantitatieve overeenstemming is met de feiten. Men zal beter doen te erkennen, dat deze theorie een kern van juistheid heeft, maar vooralsnog in een te eenvoudigen vorm is opgesteld. Men bedenke wel, dat geen enkele natuurwetenschappelijke theorie ooit geheel gaaf ter wereld komt, dat hoogst belangrijke wetten en opvattingen later herziening noodig gehad hebben, zonder dat nochtans de afwijkingen de waarde van den algemeenen gedachtengang geheel te niet gedaan hebben. De atomen zijn niet ondeelbaar, de elementen zijn niet onveranderlijk, de atoomgewichten zijn niet constant, de verbindingsgewichten evenmin; en toch blijven de grondslagen der stoechiometrie van beteekenis. Terecht heeft men er op gewezen, dat in natuurwetenschappelijke theorieën de eenvoud volstrekt niet altijd kenmerk van de waarheid is, maar dat integendeel de eenvoudige voorstellingen vaak moeten wijken voor meer ingewikkelde en toch zijn de eerste als eerste benadering dikwijls van het grootste belang.

Zoo is het ook hier; met botsingskans en activeeringsenergie is zeker het probleem van het reactiemechanisme nog niet opgelost. Er zijn ongetwijfeld nog andere factoren, die een rol spelen, en de opvatting, dat een straling van slechts één bepaalde golflengte de reactie activeeren kan, behoeft b.v. wellicht herziening.

Maar in dezen geheelen gedachtengang van *Perrin* is een kern, die ons leert verschijnselen uit verschillende gebieden

van natuur- en scheikunde met elkander te verbinden, en zij is dus een poging om eenheid te brengen in verschillende gebieden van het wetenschappelijk denken.

Als werkhypothese heeft zij alreeds belangrijke vruchten afgeworpen, en, moge zij haar definitieven vorm nog niet gevonden hebben, zij levert een gedachtengang, die in handen van onderzoekers op verschillend gebied tot vruchtbaar onderzoek aanleiding zal geven.

GEBERGTEVORMING EN DENUDATIE.

DOOR PROF. DR. H. RUTTEN.

De processen, die zich in de ontwikkelingsgeschiedenis der aarde afspelen, vertoonen veelvuldig een zekere periodiciteit. Dit geldt o.a. voor sedimentatie en denudatie: voor bepaalde deelen der aardkorst wisselen perioden van lage ligging, waarbij gesteentevorming, sedimentatie, optreden kan, af met perioden van hooge ligging, waarbij de in vorige tijdperken gevormde gesteenten weer verweeren en hun puin door rivieren, gletschers of verstuivingen weggevoerd wordt, het land dus gedenudeerd wordt. Aan een profiël door Zuid Limburg in de omgeving van Sittard, overgenomen uit het Eindverslag der Rijks Opsporing van Delfstoffen, kan dit verduidelijkt worden: het deel van de aarde, waar nú Zuid Limburg ligt, was tijdens het Steenkolentijdperk, bij een zeer lage ligging, een accumulatiegebied voor zeer dikke afzettingen; in het daarop volgende permische tijdvak had er, tijdens een periode van hooge ligging, krachtige denudatie plaats; in de Trias volgde weer lage ligging en sedimentatie; in Jura en Onder Krijt denudatie tijdens een periode van opheffing; in Boven Krijt sedimentatie bij ligging onder het zeeniveau; in Tertiair en Quartair nog herhaaldelijke afwisseling van rijzing en daling, correspondeerende resp. met denudatie en sedimentatie: alles bijeen dus een beeld van sterke periodiciteit opleverend. De overgang van een periode van „lage ligging" naar een periode van „hooge ligging" kan daarbij op twee wijzen plaats hebben: hetzij door epirogenetische

bewegingen, waarbij groote deelen der aardkorst verticaal opgeheven worden, zoodat de in een vorig tijdperk horizontaal afgezette lagen hunne horizontaliteit behouden, òf door orogenetische bewegingen, waarbij de in het voorafgaande tijdvak horizontaal afgezette lagen geplooid, tot ketengebergten samengeperst worden. Het profiel van Zuid Limburg veroorlooft, deze begrippen aan een voorbeeld te verduidelijken.

Speciaal de orogenetisch bewogen deelen der aardschors vertoonen nu een zeer duidelijke periodiciteit in hunne sedimentatie- en denudatieperioden, en wel op de volgende wijze. Een gebied, dat voorbestemd is, om orogenetisch bewogen, geplooid te worden, begint met zich éérst gedurende lange tijdvakken in een toestand van daling te bevinden, waardoor in een dergelijk gebied zeer dikke gesteente boven elkaar kunnen afgezet worden: een dergelijk, langen tijd dalend, met afzettingen opgevuld, meestal langgerekt en smal gebied duidt men aan met den naam van geosynclinale. Nadat deze toestand langen tijd bestaan heeft, treden nu plotseling orogenetische, plooiende bewegingen op en begint op het aldus opgeplooide ketengebergte de denudatie dadelijk haar werk, waarbij plooiïng en denudatie, in vergelijking met de voorafgaande sedimentatie, geologisch gesproken, zeer snel verloopen. Dadelijk daarna, of nog tijdens het denudatietijdvak ontwikkelt zich in de onmiddellijke nabijheid van het geplooide gebied dan vaak een nieuwe, dalende geosynclinale, die na een lange periode van sedimentatie op haar beurt geplooid en gedenudeerd wordt, en hetzelfde proces kan zich wederom herhalen, zoodat in deze afwisselingen een treffende periodiciteit tot uiting komt. Aan de Ardennen en hunne omgeving kan dit geïllustreerd worden: tijdens siluur, tijdens het grootste deel van devoon en carboon en tijdens het onderperm had hier sterke sedimentatie plaats; in een kleine tijdsruimte, die het bovenste siluur en het onderste devoon omvat en in een

iets grootere, die het bovenste carboon en het onderste perm omvat, had er sterke plooiing en denudatie plaats. Een tweede illustratie voor het geschilderde rhytme kan men ontleenen aan Sumatra, Java en Borneo, waar in het Mesozoicum en in het Tertiair langdurige geosynclinale sedimentatie plaats had, terwijl er op het einde van mesozoicum en in het jongste Tertiair en Quartair plooiing, gevolgd door sterke denudatie optrad.

Voor bijna honderd jaar heeft er in principieele geologische opvattingen een fundamenteele wijziging plaats gegrepen: terwijl de oudere geologen, onder leiding van Cuvier en d'Orbigny in den loop der aardgeschiedenis een aantal gewelddadige revoluties meenden te onderkennen, voor welke in den tegenwoordigen toestand van onzen planeet geen analoga waren te vinden, meenden de jongeren, onder leiding van Hutton, Von Hof en Lyell, alle geologische processen van het verleden te kunnen verklaren door naar vergelijkingspunten in nú nog werkzame processen te zoeken. Deze nieuwe, „actualistische" school is het gelukt, de oudere „revolutionaire" opvattingen geheel te verdringen.

De vraag doet zich voor, of er nu niet in het zooeven geschilderde proces: het langzame opvullen eener geosynclinale, gevolgd door de zeer plotselinge plooiing en denudatie een aanwijzing is voor het feit, dat er tóch in de geschiedenis der aarde sterke revoluties voorgekomen zijn. Beschouwen we alleen de zeer snelle denudatie van orogenetisch bewogen gebieden, dan komt die vraag dus hierop neer, of in de tegenwoordige tijden nog ergens ter aarde de denudatie zóó snel verloopt als wij voor sommige vroegere perioden gedwongen zijn te eischen (bijv. zeer snelle denudatie der Groote Soenda eilanden sedert het Jong Plioceen, van de Ardennen tuschen Boven Carboon en Perm).

Om deze vraag te kunnen beantwoorden, wordt eerst nog

een verder verschil tusschen epirogenetisch- en orogenetisch-bewogen gebieden ter sprake gebracht: de ervaring leert, dat over het algemeen in de eerste zoowel de sedimentatie als de denudatie veel langzamer verloopen dan in de tweede: dat dus in gelijke tijden in epirogenetisch bewogen gebieden dunnere afzettingen worden gevormd en omgekeerd ook minder afzettingen worden verwijderd dan in orogenetisch bewogen gebieden. Als voorbeeld van het eerste kan worden aangehaald, dat tijdens het cambrium en het siluur in Wales, dat toén geosynclinaal gebied was en waar op het einde van het siluur sterke plooïïng optrad resp., 3000—10000 M., en meer dan 6000 M. sedimenten werden gevormd, terwijl in diezelfde periode in Z. Zweden en omgeving, dat ná het cambrium alleen maar nog epirogenetisch bewogen werd, slechts resp. 125 en minder dan 1500 M. sedimenten werden gevormd. Evenzoo is de Jura in het epirogenetisch bewogen Württemberg minder dan 650 m. dik, in het orogenetisch bewogen San Franciscogebied meer dan 6500 m., het mioceen in het epirogenetisch bewogen Weensche bekken maar circa 500 m., in het orogenetisch bewogen Oost Borneo meer dan 3000 m. Voor langzamere denudatie in epirogenetisch bewogen gebieden spreekt o.a. het feit, dat in het gebied van Ardennen-Eifel-Leisteengebergte van den Rijn sedert het Boven Plioceen minder dan gemiddeld 200 m. aan sedimenten zijn verwijderd, van het op het einde van het Plioceen geplooide Zuid Sumatra of Oost Borneo meer dan 2000 m.

In het licht van deze gegevens zal men mogen verwachten, dat ook nu nog in gebieden, die kortgeleden orogenetisch bewogen zijn, de denudatie veel sneller zal verloopen dan in gebieden, die in de laatste geologische tijdperken alleen maar epirogenisch op- en afwaarts bewogen zijn.

Zeer in het kort moet worden aangegeven, hoé men gegevens over denudatiesnelheid verkrijgt. Er zijn twee betrouw-

bare methoden. Men zal allereerst van een rivier, die in een meer of een rustige zee mondt en daar een delta vormt, door nauwkeurige cartografische opmetingen kunnen nagaan, hoeveel die delta per jaar toeneemt aan inhoud. Kent men dan de oppervlakte van het stroomgebied, dan kan men zich voorstellen, dat het volume van den jaarlijkschen delta-aanwas gelijkelijk over het heele stroomgebied verdeeld wordt en vindt dan een denudatiesnelheid in millimeter per jaar. Of men kan aan een bepaalde plaats in den benedenstroom eener rivier meten, hoeveel water per dag voorbijstroomt, hoe groot het slibgehalte van het water is en hoeveel stof in het water opgelost is. Men vindt dan een zeker gewicht aan vaste stof, die in één jaar tijds uit het stroomgebied weggevoerd is, kan dit herleiden op een volume door deeling door 2,5, het gemiddelde soortelijke gewicht der gesteenten en kan dit volume weer gelijkelijk over het stroomgebied, waarvan het oppervlak bekend moet zijn, verdeeld denken. De eerste methode is o.a. toegepast op de delta, die de Boven Rijn in het meer van Konstanz opbouwt en op die, welke de Kander in het meer van Thun vormt, de laatste op een groot aantal rivieren in alle werelddeelen, behalve wellicht in Australië.

Vergelijkt men nu de resultaten dezer onderzoekingen, dan blijkt het, dat de onderzochte rivieren in twee groepen uiteenvallen: de meeste hebben een jaarlijksche denudatie van minder dan 0.06 mm., en dit zijn alle rivieren, die gebieden ontwateren, welke ná de Jura niet meer geplooid zijn; in de andere groep komen uitsluitend jaarlijksche denudatiesnelheden van meer dan 0.06 mm. voor, die tot bijna 4 mm. kunnen stijgen, en dit zijn alleen rivieren, die uitsluitend of grootendeels jonge plooiïngsgebieden (en jonge vulkanische gebieden) ontwateren. Het verschil, dat men volgens de geologische geschiedenis tusschen orogenetisch- en epirogenetisch-bewogen

gebieden zal mogen verwachten, blijkt dus inderdaad aanwezig te zijn. Op het eerste gezicht lijkt dit bevreemdend, want men zou verwachten, dat vooral regenval, de topografie der ontwaterde gebieden, en, het meest van alles, de verweerbaarheid der gesteenten de grootte der denudatie zouden beïnvloeden, en het is niet dadelijk in te zien, hoe deze factoren door de geologische voorgeschiedenis beïnvloed worden. Men moet echter bedenken, dat in de eerste plaats de jonge plooiïngsgebieden vaak hooge ketengebergten zijn, dat, waar ze niet hoog zijn, het toch betrekkelijk smalle gebieden zijn, die door betrekkelijk korte rivieren, die daarom nog een vrij groot verval kunnen hebben, ontwaterd worden, dat voorts in de jonge plooiïngsgebieden zeer dikke, betrekkelijk kortgeleden gevormde en daarom zeer verweerbare gesteenten aan de oppervlakte komen en dat ten laatste deze gesteenten juist door hunne plooiïng, hunne niet-horizontaliteit in een positie zijn, waardoor zij aan de verweering dubbel gemakkelijk ten prooi vallen.

De hoofdvraag blijft echter nog onbeantwoord: of n.l. in de jonge plooiïngsgebieden de denudatie zoo snel verloopt, dat men daardoor, zonder „revoluties" of „katastrofen" aan te nemen, de snelle denudaties, die de geologische geschiedenis ons vertoont, kan verklaren.

Bij het beantwoorden dier vraag mag er in de eerste plaats op gewezen worden, dat denudatiesnelheden van ongeveer 5 mm. per jaar denkbaar zijn, zonder dat men bijzondere „katastrofen" zal behoeven aan te nemen.

Vervolgens moet even de aandacht op de lengte der geologische tijdvakken gevestigd worden. Terwijl er vroeger nog al eens verschil bestond tusschen de schattingen, die de geologen en de physici en astronomen van dezen duur maakten, en de physici over het algemeen niet genegen waren, zoo lange tijden aan den geologen te „geven" als

deze meenden noodig te hebben, is er in de laatste tien jaar meer harmonie in deze schattingen gekomen, sedert de physici erin geslaagd zijn, op grond van het heliumgehalte van mineralen, waarvan bekend was, in wélke geologische tijdvakken ze waren gevormd, bij benadering den leeftijd in jaren, of beter, in millioenen jaren te bepalen. Zelfs overtreffen tegenwoordig de schattingen der physici de vroegere der geologen. Het blijkt dan, dat de duur der geologische tijdvakken zeer lang is geweest, dat bijv. het Quartair, dat de kortste geologische periode is, zeker wel 1 millioen jaren omvat, terwijl de tijd, die sedert het einde van het Archaeicum, het oudste, ons bekende geologische tijdperk verloopen is, op minstens 300 millioen jaren mag geschat worden.

Nu zijn wel is waar de, op plooiïng volgende, sterke denudaties zeer snel verloopen, en nemen vaak maar een onderdeel van een „tijdvak" in, maar in jaren mag men den voor deze denudaties beschikbaren tijd toch steeds op eenige millioenen rekenen. Eenige voorbeelden kunnen dit verduidelijken. In den oostindischen archipel had de plooiïng der nú gedenudeerde ketens in het Plioceen plaats en de dikte der sedert gedenudeerde lagen mag men op 3000-5000 m. schatten. Aan tijd staat hiervoor het geheele Quartair ter beschikking, dat, gelijk men zag, ongeveer 1 millioen jaren geduurd heeft. Men ziet, dat dan bij eene jaarlijksche denudatie van 3-5 mm., die geenszins katastrofaal genoemd mag worden, er voldoende materiaal verwijderd kan zijn om alle feiten te verklaren. In de Alpen bereikten vroeger-voorbereide plooiïngen hun maximum aan intensiteit in het Oligoceen en eindigden in het Plioceen. Den postoligocenen tijd kan men op 8 millioen jaren schatten, de dikte der van de Alpen weggevoerde sedimenten op maximaal 30 KM. Ook in dit voorbeeld komt men tot een jaardenudatie van nog niet 4 mm., wat wel is waar meer is dan de tegenwoordig in

de Alpen voorkomende, maar wat toch niet op katastrofen wijst.

Alles bijeengenomen zal men dus mogen aannemen, dat de tegenwoordig waargenomen denudatieprocessen voldoende snel verloopen, om ons de in de vroegere geologische tijdvakken opgetreden denudatieverschijnselen te verklaren.

Het is echter ook de moeite waard, om een blik te slaan op de minimum denudatie, die op aarde voorkomt, waarbij men als gemiddeld minimum in epirogenetisch bewogen gebieden een getal van ongeveer 0.025 mm. per jaar vindt. Dit is echter altijd nog 25 m. per millioen jaar, en, indien een gebied ná het archaeicum voortdurend mocht gedenudeerd zijn, minstens 7500 m. in de postarchaeische tijden. Bedenken we nu, dat er groote gebieden op aarde zijn, waar ná het archaeicum alleen nog verticale óp- en afwaartsche bewegingen hebben plaats gehad en dat hier tijdens periode van „lage" ligging sedimenten kunnen gevormd zijn, die in een volgende periode van „hooge" ligging weer verwijderd kunnen zijn, dan wordt het duidelijk, dat, gegeven de geweldige mogelijke denudatie zelfs in zulke gebieden, de geologische geschiedenis veel en veel ingewikkelder kan geweest zijn, dan we nú, op grond van nóg aanwezige afzettingen, kunnen vermoeden. Met andere woorden: men zal met alle geologisch-historische conclusies, gebaseerd op negatieve kenmerken, zeer voorzichtig moeten zijn.

DE CHEMIE VAN HET VERVEN IN DE TEXTIELINDUSTRIE.

DOOR DR. H. B. HOLSBOER.

Alvorens tot zijn eigenlijk onderwerp te komen, schetst Spr. den algemeenen gang van de textielstoffen door de textielfabriek. Hij beschrijft de verwerking van ruwe katoen tot garen, van garen tot weefsel en daarna de veredeling door verven, bleeken, drukken, appreteeren. Ter illustratie worden enkele afbeeldingen geprojecteerd van verschillende werkplaatsen der Hoogere Textielschool te Enschedé: de spinnerij, de weverij, de ververij, de appreteerderij. Nu komt Spr. tot het verven. Niet komt ter sprake, met 't oog op de ingewikkeldheid der problemen, de bereiding der kleurstoffen, die thans hoofdzakelijk in de bekende Duitsche fabrieken plaats heeft, in tegenstelling met vroeger, toen uitsluitend natuurlijke kleurstoffen, ontleend hoofdzakelijk aan 't plantenrijk, werden gebruikt.

In tegenstelling met vroeger beschouwt men 't verven thans niet als een zuiver chemisch proces. Toen schreef men aan de vezelstoffen zuren basische eigenschappen toe, waardoor zij resp. basische en zure kleurstoffen konden binden. Deze opvatting is thans op den achtergrond getreden, daar verschillende vezelstoffen scheikundig indifferent zijn. Tegenwoordig wordt het verven meer als een colloïdchemisch verschijnsel opgevat.

Spr. treedt in een beschouwing der colloïde oplossingen, die hij stelt tegenover de cristalloïde. De laatste bevatten in

het oplosmiddel verspreid zeer kleine deeltjes, moleculen der opgeloste stof, in vele gevallen nog geïoniseerd. Daarentegen is bij de colloïde oplossing de opgeloste stof als grootere molecuulcomplexen (submicronen) verspreid, die waargenomen kunnen worden door een ultramicroscoop, welke niet in staat is de moleculen der cristalloïde oplossing waarneembaar te maken.

Met 't verschil in grootte der deeltjes hangt ook samen het verschil in vermogen tot diffusie van beide soorten van oplossingen, bijv. in gelatine. Sommige kleurstof-oplossingen, die colloïdaal zijn, bijv. congorood en alkaliblauw, diffundeeren niet; andere, die cristalloïd zijn, bijv. fuchsine, zijn wel aan diffusie onderhevig, waardoor men tot scheiding van kleurstofmengsels kan komen.

Een andere methode van scheiding bestaat in dialyse; hierbij brengt men 't mengsel van colloïde en cristalloïde oplossing in een vat, afgesloten door een poreuze wand en geplaatst in water. De cristalloïde diffundeert in het water, de colloïde niet.

Het Tyndall-effect stelt in staat ook de kleinere deeltjes (amicronen) eener colloïde oplossing die door een ultramicroscoop niet waarneembaar zijn — aan te toonen, doordat de gang van een lichtstraal er zich in afteekent.

Men heeft in de colloïde oplossingen of sols te zien een zeer vergaande verbrokkeling der stof. In een goudsol heeft het opgeloste goud een millioenmaal zoo groot oppervlak, als wanneer het voorkwam als compact metaal. Een groot oppervlak uit zich door adsorptie. Is het groote oppervlak in aanraking met een gas of een oplossing, dan hoopen de moleculen daarvan zich zeer dicht op aan de oppervlakte van het adsorbeerende lichaam. Tusschen de moleculen der oplossing en de geadsorbeerde stelt zich een evenwichtstoestand in.

Wanneer een groot oppervlak adsorptie medebrengt, dan moeten de deeltjes eener sol deze adsorbeerende werking ook vertoonen. Een goudsol wordt gevormd door onttrekking van chloor aan chloorgoud door reduceerende stoffen. Hierbij vormen zich ook in ionen gesplitste stoffen (electrolyten). De gouddeeltjes, die neiging hebben zich tot grootere complexen te vereenigen, adsorbeeren op hun oppervlakte negatieve ionen. De afstootende werking, die zij daardoor onderling op elkander uitoefenen, maakt een eind aan de neiging tot vorming van steeds grootere goudmoleculen.

Voegt men nu aan een dergelijke negatieve sol een electrolyt toe, dan zullen de negatief geladen gouddeeltjes de positieve ionen adsorbeeren. De lading wordt geneutraliseerd; aan de neiging tot grooter worden der goudcomplexen staat nu niets in den weg. Eindelijk worden de deeltjes zoo groot, dat zij met 't bloote oog zichtbaar worden; er heeft coagulatie plaats. Tusschen het water verspreid, verschijnen nu duidelijk zichtbare deeltjes. Zijn het geleiachtige neerslagen, bestaande uit molecuulcomplexen, door uiterst dunne huidjes van elkaar gescheiden, dan noemt men ze gels.

De vezels van katoen en wol bestaan nu uit dergelijke gels. Door studie van de interferentie-figuren met behulp van Röntgenstralen is het gebleken, dat de molecuulcomplexen der gels van katoen van kristallynen bouw, die der wol van amorphen bouw zijn.

't Verven is nu als volgt op te vatten. 't Begint met het doordringen van de kleurstof in de vloeistofhuidjes tusschen de micellen (molecuulcomplexen); daarop volgt een adsorptie door de micellen. Hieruit blijkt 't verschil tusschen katoen en wol onmiddellijk. Amorphe lichamen adsorbeeren in het algemeen veel beter dan kristallyne. Vandaar het bekende feit, dat wol veel beter aanverft dan katoen. Daarbij komt nog, dat wol bestaat uit keratine, een eiwitachtige stof, katoen

uit cellulose. In tegenstelling met de cellulose, welke chemisch zeer indifferent is, vertoont keratine zoowel zure als basische eigenschappen, zoodat ze na adsorptie der kleurstof zich met deze scheikundig kan verbinden.

Nu wordt allereerst een zeer eenvoudige verving met een *zoute* kleurstof uitgevoerd. De oplossing daarvan is colloïdaal. Met een ultramicroscoop toont men submicronen aan. Na dialyse loopt een verfstof-oplossing door, die hare submicronen achtergelaten heeft blijkens haar gedrag in den ultramicroscoop, doch nog het Tyndall-effect vertoont; de doorloopende oplossing bevat dus amicronen. Deze heeft — in tegenstelling met de oorspronkelijke oplossing — geen aanverfvermogen; men kan dit echter er aan terug geven door toevoeging van een zout, tengevolge waarvan weer submicronen optreden.

Brengt men nu de katoen in de kleurstof oplossing, dan blijven de grofste submicronen buiten op de vezel geadsorbeerd. De fijnere amicronen dringen door de vloeistofhuidjes naar binnen en worden geadsorbeerd, geleidelijk naar binnen gaande minder. Na eenigen tijd neemt echter de verving niet meer toe. De deeltjes van optimale dispersiteit zijn gediffundeerd in de vezel. Men voegt nu zout aan de oplossing toe, waardoor de verdeeling der deeltjes van verschillende dispersiteit zich opnieuw instelt. Opnieuw heeft diffusie en adsorptie plaats.

De aard van het zout, dat toegevoegd wordt, bepaalt den dispersiteitsgraad, die bevorderd wordt. Hiermede staat weder in verband de nuance der uitverving.

Zoo is begrijpelijk, dat toevoeging van keukenzout aan een oplossing eener roode zoute kleurstof een roode uitverving geeft met gele nuance, dinatriumphosphaat daarentegen een rood van blauwachtige nuance.

De zoute kleurstoffen hebben grooten opgang gemaakt

door den eenvoud harer bewerkingen, zoodat de invoering een gebeurtenis van beteekenis was. De vervingen echter lijden aan geringe licht- en waschechtheid. Aan zonlicht blootgesteld, verschiet de tint; samen gewasschen met witte katoen of wol in een zeepoplossing, wordt de kleurstof afgetrokken van de gekleurde lap op de ongekleurde.

Aan de hand van verschillende stalen wordt een methode gedemonstreerd ter verbetering der echtheid.

Een veel hooger standpunt neemt *indigo* in, die als een zeer echte kleurstof bekend staat. Eerst gewonnen uit de weede, welke plant in Europa gekweekt werd, verkreeg men ze later uit de in Indië verbouwde indigoplant en sinds de laatste jaren wordt ze synthetisch bereid langs chemischen weg.

Deze kleurstof is niet oplosbaar in water. Oplossing wordt eerst bereikt door de indigo te reduceeren, waardoor ze in indigowit verandert. Deze wijze van oplossen noemt men verkuiping en indigo wordt een kuipkleurstof genoemd. Als reductiemiddel wordt tegenwoordig natriumhydrosulfiet gebruikt. In de z.g. stamkuip brengt men tezamen indigo, natronloog en natriumhydrosulfiet, alle in zoo sterke oplossing, als noodig voor de reductie. Uit deze stamkuip wordt een deel overgebracht in het water, waarin de verving zal plaats hebben; om te verhinderen, dat het indigowit weer door de in het water opgeloste zuurstof geoxydeerd en dus blauw wordt, scherpt men het water voor door een weinig natron en natriumhydrosulfiet.

De verkregen indigowit-oplossing blijkt nu colloïdaal te zijn, bestaande uit submicronen (ultramicroscoop) en amicronen (Tyndall-effect). Legt men katoen in de oplossing, dan treedt een verschijnsel op, als boven bij het verven met de zoute kleurstof beschreven. Weer begeven amicronen zich naar binnen en blijven submicronen aan de buitenzijde geadsorbeerd.

Nu wordt de katoen aan de lucht blootgesteld, waardoor het indigowit in indigoblauw verandert. De deeltjes aan de buitenkant zijn verreweg het talrijkst; bovendien zijn ze zeer grof en daardoor niet al te vast samenhangend met den vezel. Dit geeft aanleiding tot de z.g. wrijfonechtheid, een eigenschap, waardoor de handelaar de indigo-verving erkent.

Heeft de reductie der indigo niet door natriumhydrosulfiet, doch bijv. door zink en kalk plaats gevonden, dan komen in de kuip alleen submicronen, geen amicronen voor. De vezel wordt dus alleen oppervlakkig geverfd, niet doorgeverfd en de submicronen, aan de oppervlakte gehecht, zijn nog grover; de wrijfonechtheid is nog grooter.

Voor het overige is echter de echtheid van indigo goed. Bij indigo sluiten nog andere kleurstoffen aan, die op dezelfde wijze als indigo worden geverfd. Zij zijn onoplosbaar in water, maar worden door reductie verkuipt. De katoen, in de oplossing gebracht, wordt na aanverving aan de lucht geoxydeerd. Men noemt ze kuipkleurstoffen; ze komen onder de namen *helindon-*, *algol-*, *indantbreen*kleurstoffen in den handel. Het zijn de beste kleurstoffen, die men kent: zeer echt en bovendien van zeer verschillende nuance. Een nieuwe blauwe kuip-kleurstof, die de indigo heeft overvleugeld, is hydronblauw: deze onderscheidt zich door wrijfechtheid. Bij deze kleurstof heeft men de middelen leeren kennen om de dispersiteit der deeltjes naar wensch te regelen, waardoor men invloed uitoefent op de intensiteit der verving.

Op hetzelfde peil van echtheid als de kuipkleurstoffen staat *Turksch Rood*, een tint verkregen door alizarine. Hiervoor zijn vele bewerkingen vereischt, waardoor men een prachtig, echt rood verkrijgt, dat echter duur is. Een goedkooper rood, hoewel minder echt, is *ijsrood* of *pararood*.

Deze kleurstof betrekt men niet klaar uit de kleurstoffabriek, doch ze wordt in de ververij uit twee bestanddeelen samenge-

steld: B-napthol en de diazo-verbinding van para-nitraniline. Brengt men de beide oplossingen tezamen, dan krijgt men een rood neerslag van pararood. Had men te voren ook turkschroodolie toegevoegd, dan krijgt men alleen een roode vloeistof zonder neerslag; de stof is dus dan fijner verdeeld.

Men impregneert de katoen nu eerst met de colloïdale oplossing van B-naphtol. De amicronen dringen weer in de vezel door, de submicronen blijven van buiten vast gehecht. De naphtoldeeltjes blijken inwendig niet zoo stevig geadsorbeerd als de deeltjes in de vroeger behandelde gevallen. De katoen wordt nu gedroogd en daarna snel getrokken door de diazo-oplossing. Deze laatste is cristalloïd (moleculair-dispers). De deeltjes dringen in de vezel en zetten de daar aanwezige B-naphtoldeeltjes om in pararood.

Spr. behandelt na deze verschillende gevallen van katoenvervingen nog één geval van verven van wol en één van zijde.

Wol wordt veel geverfd door zure kleurstoffen. Ook hierbij zal men denzelfden gang van zaken moeten verwachten, als zooeven geschilderd. Er zal dus diffusie in de vezel plaats hebben en adsorptie aan de micellen. Daar deze echter bij de wol een amorphe structuur hebben, zal de adsorptie aanzienlijk zijn, beter dan bij de katoen. Waarschijnlijk zal deze adsorptie gevolgd worden door een scheikundige binding. De keratine der wol zal als eiwit ook basische eigenschappen bezitten en daardoor zich met 't zuur der kleurstof kunnen verbinden. Een toevoeging van zout aan de verfoplossing heeft de adsorptie nog ondersteund.

Zijde heeft vooral neiging om basische kleurstof op te nemen. Men brengt de zijde in de oplossing der kleurstof met azijnzuur. Na de adsorptie volgt scheikundige verbinding van de

fibroine, het eiwit der zijde. Deze heeft als zoodanig ook zure eigenschappen en kan zich dus ook met de basische kleurstof verbinden. Deze verving is gekenmerkt door levendige tinten, die echter in echtheid te kort schieten.

Zoowel de zure als de basische kleurstoffen worden door katoen zonder meer niet gebonden.

EENIGE PROBLEMEN UIT DE MODERNE DRAADLOOZE TELEGRAFIE EN TELEFONIE.

DOOR DR. BALTH. VAN DER POL JR.

Tijdens den oorlog onderging de draadlooze telegrafie een groote ontwikkeling. Aan beide zijden stuitte men op dezelfde problemen en het was merkwaardig te zien, toen na den oorlog de verkregen resultaten door beide partijen werden gepubliceerd, hoe men in groote trekken tot dezelfde oplossingen van de moeilijkheden gekomen was.

Deze ontwikkeling van de draadlooze telegrafie baande den weg voor de verdere vervolmaking van de draadlooze telefonie, die thans door tal van amateurs in nagenoeg alle beschaafde landen wordt beoefend.

In groote trekken zullen wij vanavond een draadloos telefonisch signaal volgen van den mond van den spreker op het zendstation tot aan het oor van den luisteraar op het ontvangstation. Natuurlijk kunnen wij daarbij niet stilstaan bij alle zich voordoende vraagstukken, maar wij zullen een oogenblik verwijlen bij enkele problemen, die door hun fundamenteel karakter, omdat zij overal in de draadlooze zich voordoen, onze belangstelling verdienen, en bij enkele problemen waarop thans meer in het bizonder de algemeene aandacht gevestigd is.

Men zal bij deze beschouwingen, zooals bij alle natuurkundige verschijnselen, steeds kunnen constateeren, dat

energieën van den eenen vorm in den anderen overgaan; maar voorts heeft men in de draadlooze telegrafie tal van voorbeelden van „relais-werking". Daarbij gaat ook wel energie van den eenen vorm in den anderen over, doch deze overgang wordt geregeld door toestellen die als een relais werken, waarbij dus de hoeveelheid vrijkomende energie in het algemeen in geen direct verband staat met de hoeveelheid arbeidsvermogen die noodig is om het relais in werking te stellen.

Het gesproken woord bestaat, zooals bekend is, uit lucht-trillingen, die zich in den vorm van geluidsgolven voort-planten.

Alle periodieke verschijnselen, b.v. de luchttrillingen die ontstaan bij het zingen van een bepaalden toon, kunnen uiteen gedacht worden als te zijn opgebouwd uit harmonische, dus zuiver sinusoïdale, trillingen.

In het gesproken woord komen aldus trillingen voor van zeer uiteenloopende frequenties, n.l. van 100—2500 trillingen per secunde. De samengesteldheid van de trillingen, die zich bij een muzikale reproductie voordoen werden gedemonstreerd aan de geluidstrillingen van een gezongen sextet, opgenomen met behulp van de „phonodeik" van Miller.

Recente onderzoekingen hebben aangetoond, dat bij onder-drukking van alle frequenties beneden 500 per secunde het gesproken woord toch verstaanbaar blijft, terwijl echter de onderdrukking van alle trillingen boven 1700 per secunde, het verstaan onmogelijk maakt. Dit laatste hangt hoogst-waarschijnlijk samen met een eigenaardigheid van de klinkers, die zooals Sir Richard Paget onlangs aantoonde, ieder voor zich gekarakteriseerd worden door het samenklinken van twee typische hooge tonen.

Bij het spreken verdeelt de tong n.l. de mondholte in twee resonatoren. Paget maakte uit was deze holten na en

hij kon met behulp van dit model klinkers nabootsen. Zelfs is hij er in geslaagd, met de handen deze holten na te maken en aldus, met behulp verder van een rubber membraan, die voor stembanden fungeerde, korte verstaanbare zinnen te spreken.

De energie bij normaal spreken in den vorm van geluidsgolven uitgezonden, is uiterst gering, n.l. 125 erg per secunde. Een goed voorbeeld van de kleinheid hiervan verkrijgt men uit het volgende voorbeeld.

Gesteld men spreekt continu 60 jaar lang; in dien tijd heeft men dus een zekere hoeveelheid arbeidsvermogen aan de lucht afgegeven. Nam men deze zelfde totale hoeveelheid energie van een stopcontact dat op de centrale aangesloten is, dan zouden de kosten daarvan, à 30 ct. per KWU., 0,2 ct. bedragen.

De door het spreken opgewekte geluidsgolven vallen in het zendstation op een microfoon, waarvan tal van typen in gebruik zijn. Bij wijze van voorbeeld, bepalen wij ons echter tot de gewone koolmicrofoon. In serie met deze microfoon bevindt zich een batterij. Door de periodische verandering van de weerstand van de koolkorrels in den microfoon, ontstaan periodische stroomen die geleverd worden door de batterij. We hebben hier dus te doen met een soort „relaiswerking", want de stroomen ontleenen hun energie niet aan het gesproken woord, doch ze worden hierdoor alleen geregeld. Deze regeling is in tegenstelling met een gewoon relais, echter quantitatief: bij luid spreken zijn de amplituden van den stroom grooter dan bij zacht spreken. De microfoon is dus een voorbeeld van een quantitatief relais, en daar in het algemeen de door het gesproken woord geregelde electrische energie groot is ten opzichte van de geluidsenergie, kan de microfoon derhalve opgevat worden als een versterker.

Men kan algemeen aantoonen dat iedere versterker tot

oscillator kan gemaakt worden. En inderdaad is dit met een microfoon eenvoudig te demonstreeren.

Brengt men n.l. in de keten van de microfoon, behalve de batterij, ook een telefoon, en plaatst men deze telefoon tegenover de microfoon, dan zal het geheele systeem gaan oscilleeren. Kleine geluidsstoringen in de microfoon worden door de telefoon versterkt weergegeven en vallen aldus in versterkten vorm weer op de microfoon, zoodat de oorspronkelijke zwakke storing thans versterkt in de microfoon komt. Het systeem is dus labiel, en gaat trillen, zooals een nader onderzoek laat zien met een frequentie, die door de eigenfrequenties van de trilplaten bepaald wordt.

Een gewoon relais kan ook als versterker worden opgevat, en moet dus ook tot oscilleeren kunnen worden gebracht. Inderdaad gelukt dit op de volgende wijze.

Men sluit de toevoerzijden (de beide einden van de klos) door eenige windingen koperdraad. In de afvoerzijde (dus tusschen platina-contact en anker) brengt men een batterij en een tweede serie windingen. „Koppelt" men thans het relais „terug", brengt men derhalve de beide series windingen dicht bij elkaar, waarbij met voordeel van een ijzeren kern gebruik gemaakt wordt, zoodat een wederkeerige inductie ontstaat, dan gaat het systeem trillen.

We kunnen voorts de wederkeerige inductiekoppeling vervangen door een directe weerstandskoppeling en verkrijgen aldus het bekende schema van een electrische bel. Het is interessant hierbij op te merken dat een verdere analytische studie van deze verschijnselen aangeeft, dat de gangbare verklaring van de werking van een zoo schijnbaar eenvoudig mechanisme als dat van de electrische bel, in strijd is met de wet van het behoud van arbeidsvermogen.

Vatten we thans ons signaal weer op. De door de microfoon geleverde zwakke wisselstroomen worden met behulp van

triodenversterkers op het zendstation verder tot een grootere amplitude gebracht. Een triode-versterker is weder een voorbeeld van een quantitatief relais.

Staan we een oogenblik stil bij de werking van een triode. Professor *Lorentz* leidde uit zijn electronen-theorie af de voorstelling van de vrije electronen in metalen. Wanneer men een stuk metaal verhit, zullen de moleculen, wier kinetische energie daarbij grooter wordt, volgens een gedachtengang van *Richardson*, deze energie ook mededeelen aan de electronen. Worden deze warmtebewegingen zeer heftig, dan zullen de snellere moleculen, evenals de snellere electronen, niettegenstaande er een kracht aan de oppervlakte van het metaal werkt die beide tracht vast te houden, onder omstandigheden naar buiten vliegen en het metaal verlaten. Wat de moleculen betreft, noemt men dit verschijnsel koken, en wat de electronen betreft, thermionische emissie. De natuurkundige wetten van beide verschijnselen loopen in groote trekken geheel parallel.

Plaatst men derhalve een gloeidraad in een geëvacueerde ballon, en wordt de eerste b.v. langs electrischen weg, verwarmd, dan zullen de, negatief geladen, electronen naar een tevens in den ballon ingesmolten positief geladen plaat, de anode, worden getrokken. Dit toestel heet diode of gelijkrichter. Diode, omdat het in tegenstelling met een triode, 2 electroden bevat, en gelijkrichter, omdat de stroom slechts in één richting kan doorgaan, daar de koude anode geen electronen emitteert. Is het spanningsverschil tusschen de warme kathode en de koude anode 100 Volt, dan bereiken de electronen de anode met een snelheid van rond 5.10^8 cm/sec.

De bekende triode of 3-electroden buis wordt verkregen, door tusschen gloeidraad en anode een rooster aan te brengen. Een verandering van het potentiaalverschil tusschen gloeidraad en rooster heeft in het algemeen een grooter

invloed op het aantal electronen dat de anode bereikt, dan een even groote verandering van het potentiaalverschil tusschen gloeidraad en anode. Men kan dus den anodestroom regelen, door aan het rooster kleine potentiaalveranderingen te geven en zoodoende regelt men derhalve weder betrekkelijk groote energieën met kleine hoeveelheden arbeidsvermogen. Vandaar de versterkende werking. Maar zooals wij reeds aan het voorbeeld van de microfoon en het relais zagen, kan dus ook een triode, wanneer men de afvoerzijde de invoerzijde op de juiste manier (met de goede phase) electrisch laat beïnvloeden, tot trilling worden gebracht. Het gebied van de frequenties van triodetrillingen is zeer uitgebreid: het loopt van trillingen die langer dan een secunde duren tot trillingen van een frequentie van 10^9 per secunde. De snelheid van trillen wordt alleen begrensd door den eindigen tijd die noodig is, om de electronen naar het rooster of de anode te doen overgaan, terwijl de energie die de trillingen voortbrengt, wordt geleverd door de batterij in de anodeketen of in de roosterketen.

Eigenlijk is het zeer vreemd, dat een gelijkstroombatterij aldus wisselstroom levert. Het is even vreemd, als wanneer een gezongen *a* gehoord zou worden b.v. als *as*, of wanneer blauw licht omgezet werd in rood licht; want bij een trillende triode of bij een oscilleerenden boog heeft men te doen met een *transformatie van frequenties*. Een dergelijke transformatie van frequenties komt in de natuur maar zeer sporadisch voor. De wetten van de voortplanting van het licht en van het geluid zijn n.l. lineair, en in een lineair systeem blijven de frequenties steeds behouden.

Karakteristiek voor lineaire systemen is, dat trillingen van verschillende frequenties gelijktijdig kunnen bestaan, zonder dat ze elkaar beïnvloeden, de storingen zijn n.l. eenvoudig gesuperponeerd. Snijdt b.v. een blauwe lichtbundel AB een

andere daarop loodrecht staande roode bundel CD, dan zal in het gebied van de snijding zoowel de blauwe frequentie als de roode frequentie aanwezig zijn, maar elke bundel komt uit het snijdingsgebied weer geheel onbeïnvloed door de andere tevoorschijn. Verdubbelt men de intensiteit van een lichtbron, dan zal, hoe het licht ook gereflecteerd of geabsorbeerd wordt, mits in beide gevallen op dezelfde manier, overal de verlichting ook juist twee maal zoo sterk geworden zijn.

Een eenvoudig voorbeeld van transformatie van frequenties, is de diode of gelijkrichter. Een zuivere sinusoïdale wisselspanning daaraan aangelegd, geeft een stroom die wel wisselend is, maar die toch ook een gelijkstroom, met een frequentie nul, bevat. Een spanning van b.v. 50 perioden aan een gelijkrichter gelegd, zal dus o.m. een stroom geven van frequentie nul. Deze gelijkrichting is te danken aan de krommingen van de karakteristiek. Essentieel voor gelijkrichting is dus het bezigen van een niet-lineair systeem. Juist zoo kan omgekeerd een gelijkspanning slechts dan een wisselstroom leveren, wanneer die eveneens aangelegd wordt aan een niet-lineair systeem. Het slechts niet-lineair zijn is echter in het algemeen geen voldoende voorwaarde voor een wisselspanning om gelijkstroom te leveren, evenmin als dit voldoende is voor een gelijkspanning om wisselstroom voort te brengen.

Wij zullen echter afzien van het ontwikkelen van de verdere voorwaarden, omdat dat ons te ver in de wiskunde zou voeren. Het algemeene probleem, aan welke voorwaarden een systeem moet voldoen om een trilling van frequentie n in trillingen van frequenties $(n + p)$ en $(n - p)$ te transformeeren, is nog niet opgelost.

Op het zendstation voor draadlooze telefonie, maakt men van de beschreven eigenschap van trioden, om trillingen op te wekken, gebruik voor het maken van wisselstroomen van hooge frequentie.

Door een andere (weder niet-lineaire) kunstgreep laat men de versterkte microfoon-stroomen de sterkte van genoemde triodetrillingen beïnvloeden of moduleeren. Aldus verkrijgt men sterke wisselstroomen, waarvan de amplitude een meer of minder getrouwe afbeelding is van het gesproken woord.

Als voorbeeld van deze zendtrioden werden eenig buizen gedemonstreerd, die weergeven de laatste vorderingen op dit gebied te Eindhoven in het Laboratorium van de N.V. Philips' Gloeilampenfabriek gemaakt. Men is er thans in geslaagd, dank zij de uitwerking van een lasch tusschen glas en metaal, de anode als buitenwand van een triode uit te voeren. Daartoe kan de anode met behulp van water gekoeld worden en wordt het vermogen meer dan vertienvoudigd. Enkele trioden van 25 KW. waren tentoongesteld, waarmede door parallelschakeling van meerdere exemplaren een antennevermogen van 200 KW. werd verkregen. Het nauwkeurig constant blijven van de frequentie van een triodezender, nu vermogens bereikt worden van dezelfde orde als door machines en booglampen geleverd, maakt de eerste tot een mededinger in het intercontinentale draadlooze verkeer.

De hoogfrequente-gemoduleerde wisselstroomen zendt men vervolgens door een antenne. Uit berekeningen en proeven van *Hertz*, de grondlegger van de draadlooze telegrafie, volgt, dat een deel van de wisselstroomenergie daarbij getransformeerd wordt tot van de antenne wegloopende electromagnetische golven. Dicht bij de antenne hebben deze een snelheid grooter dan, en verderaf nauwkeurig dezelfde snelheid als die van het licht.

Bij de transmissie van de golven over de aarde, doen zich talrijke problemen voor. Zoo is het eenvoudig in te zien, dat de aarde zelf voor de golven een groot obstakel vormt.

Men kan aantoonen, dat voor bepaalde golflengten de op een aardquadrant afstand van den zender gelegen ontvanger,

50.000 maal sterker wordt beïnvloed, dan men volgens de theorie moest verwachten. Dit gelukkige feit is te danken aan de medewerking van de Heaviside-laag, een geleidende laag, die op ongev. 100 K.M. boven de aarde zich bevindt en waartegen de golven gedeeltelijk reflecteeren, zoodat aldus de energie minder naar buiten straalt en meer geconcentreerd blijft op de oppervlakte van de aarde. In deze laag doet het noorderlicht zich voor.

Men stelt zich voor, dat de door de zon met groote snelheid geëmitteerde electrisch geladen deeltjes in de nabijheid van de aarde komen en daar onder den invloed van het aardmagnetische veld van hun rechten baan worden afgeweken, zoodat zij ook aan de nachtzijde kunnen invallen en daar het noorderlicht veroorzaken.

Men heeft nauwkeurig dit licht onderzocht, maar langen tijd heeft men de oorsprong van een steeds wederkeerende intensieve groene lijn niet kunnen verklaren. Men heeft toen zijn toevlucht genomen tot een hypothese ad hoc, van de aanwezigheid in de hoogere atmospheer van een verder onbekend gas, geocoronium. Voor eenige weken is het echter *Vegard* gelukt te Leiden de oorsprong van deze groene lijn vast te leggen. Door afkoeling van stikstof tot vaste kristallen en door deze kristallen met electronen te bombardeeren, kon de groene lijn met laboratorium-hulpmiddelen worden gereproduceerd, en aldus kon *Vegard* aantoonen, dat ook deze groene lijn, evenals de meeste in het noorderlicht voorkomende lijnen aan stikstof te danken is.

Zonder de aanwezigheid van de Heaviside laag, zou men met de tegenwoordige hulpmiddelen zeker niet verder kunnen telegrafeeren dan eenige duizende kilometers, terwijl, zooals bekend is, onder omstandigheden de antipoden worden bereikt. Bij de antipoden van een zendstation, komen de golven, die langs alle zijden om de aarde heengeloopen

hebben, meer of minder samen en vormen daar een kleine versterking die theoretisch eerst berekend werd. Deze versterking, evenals de berekende banden van afwisselende sterke en zwakke signalen, zooals door de theorie wordt aangegeven, is experimenteel ook gevonden.

In een ontvangantenne induceeren de golven zwakke wisselstroomen, waarbij stralende energie omgezet wordt in wisselstroomenergie. Met behulp van triode-versterkers wordt vervolgens de intensiteit van deze zwakke stroomen door een „relaiswerking" opgevoerd en vervolgens worden door een niet-lineair systeem, detector genaamd, de stroomen van hooge frequentie getransformeerd tot stroomen van frequenties in het hoorbare gebied. Alles is er nu op gericht, deze laatste stroomen zoo goed mogelijk een afbeelding te doen zijn van het gesproken woord op den zender. Maar door al de energie-transformaties en vooral door de talrijke niet-lineaire kunnen belangrijke vervormingen van de stroomen optreden, die onder omstandigheden het gesproken woord moeilijk verstaanbaar maken. Het is misschien een wonder te noemen, dat in het geheel zelfs nog iets verstaanbaar is. Het groote aanpassingsvermogen van het menschelijk oor maakt hier zeer veel goed; want wij zijn allen bij het beoordeelen van draadlooze ontvangst van nature zeer welwillend.

EEN GROOT HAAGSCH ASTRONOOM

DOOR PROF. DR. A. A. NIJLAND.

Wij Nederlanders kunnen er ons op beroemen, dat in verhouding tot ons kleine land een buitengewoon groot aantal beroemde Nederlandsche namen onder de voornaamste beoefenaars der Natuurwetenschappen voorkomt. De twintigste eeuw kan bogen op een Lorentz, een Kapteyn, een van 't Hoff, de negentiende op mannen als Donders en Buys Ballot en G. J. Mulder, maar grooter dan zij allen, en dan Musschenbroek en Leeuwenhoek, Boerhaave en Snellius is de geniale fysicus, mathematicus en astronoom Christiaan Huygens, met wiens sterrekundigen arbeid wij ons hedenavond zullen bezighouden.

De vader van Christiaan Huygens was Constantijn Huygens (1596—1687), die sedert 1625 drie prinsen van Oranje, de stadhouders Frederik Hendrik, Willem II en Willem III als secretaris ter zijde stond, tevens een onzer meest beteekenende dichters. Zijn huwelijk met Suzanna van Baerle werd met vijf kinderen gezegend, Constantijn, Christiaan, Lodewijk, Philip en Suzanna. De oudste zoon, Constantijn (1628—1697), was van 1647 af en in dienst van Willem II en later van Willem III, als adjunct zijns vaders werkzaam; de tweede is onze Christiaan (1629—1695), zwak van constitutie en tenger van lichaam, maar begaafd met een buitengewoon vlug begrip en een zeldzaam helder verstand, de lieveling van zijn vader. Hij wierp zich op de Wis- en Natuurkundige Wetenschappen, en had zich al in 1657 grooten

naam verworven door zijn verhandeling *De circuli magnitudine inventa* en vooral door zijn werk *Van Rekeningh in Spelen van Geluck*, dat in 1713 in Latijnsche vertaling in het standaardwerk van Jac. Bernoulli *de Arte Conjectandi* is opgenomen. Op het gebied der Mechanica is Christiaan Huygens'naam beroemd door zijn theorieën der middelpuntvliedende kracht, der zwaartekracht, der hydrostatica, der botsing en vooral door zijn *Horologium Oscillatorium*, waarover wij straks iets uitvoeriger zullen spreken.

En de Natuurkunde heeft hem omvangrijke dioptrische onderzoekingen over lenzen en lenzenstelsels te danken, en dat geniale werk *Traité de la Lumière*, waarin Huygens, zijn tijd een eeuw vooruit, de undulatietheorie van het licht opstelde. Huygens' buskruitmachine, door zijn assistent Denis Papin wat gewijzigd, is de voorlooper der stoomwerktuigen van Watt en Stephenson, en zeer terecht is in het tweede Utrechtsche Staatsspoorgebouw, voltooid in 1895, een medaillon aangebracht met de beeltenis van Christiaan Huygens en het randschrift:

Temporis invenit mensuram, ignisque movendi
Vim, fugiente die qua licet arte frui. [1])

Maar wij gaan ons meer in het bijzonder met Huygens' astronomischen arbeid bezig houden en zullen beginnen met een beknopte levensbeschrijving. Op zijn achtste jaar was de jonge Christiaan bedreven in het Latijn, dat hij met zijn broer Constantijn zelfs sprak, en in het rekenen; hij speelde luit en viool, en kon „op alle sleutelen zeer vast zingen"; op zijn twaalfde jaar had hij geografie, logika, Fransch en Italiaansch, later ook Grieksch, en het bespelen van het

[1]) Hij leerde den tijd te meten, en vond de beweegkracht van het vuur, waardoor het mogelijk is, den snel voorbijgaanden dag te gebruiken.

clavecimbel geleerd; op zijn veertiende jaar paardrijden, dansen, wiskunde en mechanica. Deze beide laatste vakken vormden weldra zijn lievelingsstudie; Christiaan maakte zelf een draaibank, om daarop de modellen van de bestudeerde werktuigen te vervaardigen. In 1645 ging hij met zijn broeder Constantijn als student naar Leiden, waar hij den bekwamen van Schooten, vriend en vereerder van Descartes, als leermeester in de wiskunde kreeg. Twee jaren later werd Constantijn adjunct-secretaris van prins Willem II van Oranje, en Christiaan ging met zijn jongeren broeder Lodewijk naar het door Frederik Hendrik te Breda gestichte Collegium Arausiacum. Na wederom twee jaren, dus in 1649, werd de opvoeding van den jongen aristocraat voltooid geacht, en kon hij zich vrijelijk aan reizen en aan zijn lievelingsstudie gaan wijden. Behalve de wiskunde en de werktuigkunde trok hem de praktische sterrekunde het meest aan, waarvoor zich door de uitvinding van den kijker nieuwe wegen geopend hadden. Nadat hij vergeefs getracht had, lenzen naar zijn eigen theoretische voorschriften bij de lenzenmakers geslepen te krijgen, besloot hij zijn lenzen zelf te slijpen; zijn broeder Constantijn is hem daarbij van onschatbare hulp geweest. Zelfs is op den duur Constantijn degeen geweest, die verreweg het grootste aandeel in deze werkzaamheden gehad heeft.

Reeds met zijn eerste lens, waaraan 3 Febr. 1655 de laatste hand werd gelegd, had Huygens groot succes: hij ontdekte er, 26 jaar oud, 25 Maart 1655 den wachter van Saturnus mede; de op Titan verrichte waarnemingen hebben er, zooals hij zelf zegt, veel toe bijgedragen, om hem inzicht te geven in het probleem, dat de planeet Saturnus door haar zonderlinge soms geoorde soms eenvoudig cirkelronde gedaante den astronomen stelde. In 1656 verscheen het geschrift *De Saturni lunâ observatio nova*, waarin Huygens de ont-

dekking van den wachter beschreef, en de oplossing gaf van het anagram, dat hij, om zich de prioriteit te verzekeren, reeds een jaar te voren omtrent deze ontdekking had gepubliceerd. Het luidde: *Admovere oculis distantia sidera nostris v v v v v v c c c r r h n b q x;* de oplossing is: *Saturno luna sua circunducitur diebus sexdecim horis quatuor* [1]).

Inmiddels had hij met zijn broeder Lodewijk een reis naar Frankrijk gemaakt (Juni tot December 1655), met het doel, om aan de protestantsche Universiteit van Angers tot Doctor utriusque Juris te promoveeren.

In 1657 verscheen, zooals wij reeds vernamen, het werk *Van Rekeningh in Spelen van Geluck*, en in 1658 het kleine geschrift *Horologium*, waarin de methode werd uiteengezet, om den gang der uurwerken door een slinger te regelen. Reeds sinds omstreeks 1300 kende men raderuurwerken, gedreven door een gewicht of een veer en geregeld door een horizontale balans, hier te lande *onrust* genaamd, die in slingerende beweging gehouden werd, doordat zij op geschikte oogenblikken telkens weer een kleinen stoot van het raderwerk kreeg. Dat is dus het vernuftige denkbeeld van het *echappement* reeds in toepassing gebracht, maar daar de balans geen eigen slingertijd heeft, was het resultaat zoo poover, dat de uurwerken niet voor nauwkeurige waarnemingen konden dienen, en de astronomen zich behielpen met het moeizaam tellen van de slingeringen van een vrij opgehangen slinger, slingeringen, waarvan Galilei in 1602 het *isochronisme*, den gelijkblijvenden slingertijd, bewezen had.

Huygens draaide de as van de balans 90° om, zoodat zij horizontaal kwam te staan, en de balans werd een slinger met eigen slingertijd, slechts afhankelijk van de versnelling der zwaartekracht en van de lengte van den slinger;

[1]) Om Saturnus loopt een wachter in 16 dagen en 4 uren rond.

aldus begiftigde hij de wereld met het slingeruurwerk. [1])

Maar hij deed meer. Hij onderzocht de slingering nauwkeurig, toonde aan, dat zij eigenlijk niet volkomen isochroon is, zooals Galilei dacht, maar dat zij isochroon te maken is, wanneer men den slinger door het aanbrengen van twee *cycloïdale* boogjes dwong, zelf ook een cycloïdalen boog te doorloopen [2]), en ontwikkelde naar aanleiding van dit onderzoek de theorie der *ontwondene krommen*. Achttien jaar later, in 1675, gelukte het Huygens, voor de draagbare uurwerken het vraagstuk eveneens op te lossen; de slinger is hier vervangen door een aan de onrust verbonden stalen spiraalveer. Met begrijpelijken trots schrijft hij aan zijn broer Lodewijk, bij de geboorte van diens zoon: *Si votre garçon est beau, ma fille, la nouvelle invention, est aussi belle en son espèce et vivra longtemps avec sa soeur aînée la pendule et son frère l'anneau de Saturne.*

Keeren wij nu tot 1657 terug. Huygens, ofschoon pas 28 jaar oud, was een beroemd man geworden, door zijn kijkers en de daarmede verrichte waarnemingen, de *Rekeningh in Spelen van Geluck* en bovenal door het slingeruurwerk, dat een omwenteling teweeg bracht in de praktische sterrekunde. Zijn roem steeg, toen hij in 1659 in het *Systema Saturnium* het uitvoerige betoog gaf tot staving van zijn hypothese omtrent het raadsel van Saturnus.

In 1660 en 1661 maakte Huygens een reis naar Parijs en Londen. Te Londen gaf hij de met veel praal gevierde kroning van Karel II — een plechtigheid, die voor den jongen aristokraat toch groote aantrekkingskracht moet gehad hebben — er aan, om het zeldzame verschijnsel van een

[1]) Galilei heeft reeds in 1641 een slingeruurwerk naar analoge beginselen geconstrueerd, dat echter niet bekend geworden is.

[2]) In 1658 werden een kerktoren op Scheveningen en de Utrechtsche Dom van cycloïdale slingers voorzien.

overgang van Mercurius voorbij de zonneschijf bij te wonen. In zijn eigen woorden: *„le 3 mai fut le couronnement du Roy dans le choeur de l'église de Westminster... Tout cecy par relation, cas j'estois cependant chez Reevs pour observer Mercure dans le Soleil, comme je fis, y ayant 30 ans que M. Gassendi avoit veu le mesme chose"*.

In 1663 en 1664 zien wij hem weder in Londen, waar hij lid wordt van de in 1662 gestichte *Royal Society*, en in Parijs. Ook hier waren plannen, om een Akademie van Wetenschappen te vormen uit de wetenschappelijke gezelschappen, die in de Fransche hoofdstad geregeld bijeenkomsten hielden en waar Huygens een geëerde en geziene gast was. Colbert heeft het plan eerst doorgezet, toen hij de zekerheid had, dat Huygens zich te Parijs zou vestigen. Moray schrijft zelfs: *„Ayant appris, que le Roy de France vous avoit convié d'aller demeurer à Paris pour y établir une Académie pour la Philosophie naturelle comme la Société Royale"*. Huygens accepteert en vestigt zich nu in April 1666 metterwoon te Parijs, waar hij tot September 1681 is gebleven; tweemalen echter (September 1670 tot Juni 1671 en Maart 1676 tot Juni 1678) moest hij, ernstig ziek, door zijn broeder Lodewijk of zijn zwager Doublet naar Den Haag worden teruggebracht, om in Nederland weer op zijn verhaal te komen. Te Parijs woonde hij eerst in de Koninklijke Bibliotheek, later kreeg hij appartementen op de door Cassini op last van Lodewijk XIV gestichte sterrewacht. Huygens nam in de Académie des Sciences een zeer vooraanstaande plaats in, zooals wel blijkt uit het feit, dat hij het was, die een lijst opmaakte van de onderwerpen, waaraan de Akademie haar aandacht vooral zou dienen te schenken.

Ofschoon Huygens' werkzaamheden te Parijs meer van theoretischen dan van praktischen aard waren — hij schreef

er de beide wereldberoemde werken *Horologium Oscillatorium* (1673) en *Traité de la Lumière* (1678), werden toch ook de astronomische waarnemingen niet verzuimd. Met Cassini, Picard, Boulliau en anderen werden de planeten, vooral Mars en Saturnus, ijverig waargenomen. Uit 1672 kennen wij een teekening van Mars, die nog tegenwoordig groote waarde heeft, hetgeen van de meeste teekeningen van Huygens' tijdgenooten niet kan worden gezegd; van 1675 dateert een voortreffelijke teekening van Saturnus.

Toen Huygens in Den Haag van zijn ziekte herstelde, wierp hij zich weer op de praktische Astronomie. Hij construeerde een *Planetarium* (1682), dat met verwonderlijke nauwkeurigheid den loop der planeten aangaf [1]), hij sleep met zijn broeder Constantijn tallooze, steeds grootere, lenzen, en verrichtte daarmede vele sterrekundige waarnemingen, o.a. van de planeten Saturnus, Mars en Jupiter, en van de komeet van Halley (1682). Maar in 1686 dwong een ernstig lichamelijk ongemak hem, het lenzenslijpen op te geven; ook zijn astronomische werkzaamheid verslapte, en na 1686 zijn er nog maar 5 waarnemingen van Huygens bekend, waarvan de penteekening van den Orionnevel (1694) wel de voornaamste is. Den 7en Juli 1695 stierf hij, in Den Haag, waar hij geboren was, en waar ongetwijfeld zijn belangrijkste astronomische arbeid verricht is. Kort voor zijn dood kwam het eenigszins fantastische werk *Kosmotheoros* gereed.

Laten wij nu nog de vervaardiging van kijkers en de waarnemingen van Saturnus en zijn wachter iets nader beschouwen.

Wij zagen reeds, dat de gebroeders Constantijn en Christiaan zich in 1653 op het slijpen van lenzen gingen toeleggen, en dat Christiaan op de lens van 3 Febr. 1655 het anagram inkraste, dat de ontdekking van den wachter van Saturnus behelsde.

[1]) Het bevindt zich thans op de Sterrewacht te Leiden.

Zoo is het mogelijk geweest, dat deze lens, die na 1722 spoorloos verdwenen was, in 1867 door P. Harting werd teruggevonden. Deze bekende Utrechtsche Hoogleeraar had een studie onderhanden over een mikroskoop en twee kijkers, die aan Zacharias Jansen werden toegeschreven. Naar oude lenzen zoekende, vond hij in een kist op het Fysisch Laboratorium te Utrecht onder allerlei waarlooze glazen een platbolle lens — van 57 m.M. middellijn en 317 c.M. brandpuntsafstand —, welke de spreuk *Admovere oculis distantia sidera nostris* en de dateering 3 Febr. MDCLV op den rand vertoonde. Onmiddellijk vermoedde Harting, hier de lens te hebben teruggevonden, waarmede Titan ontdekt was. Hij begaf zich naar Leiden, waar vele handschriften van Huygens bewaard worden (o.a. de astronomische journalen, die thans door de Hollandsche Maatschappij der Wetenschappen worden uitgegeven en in deel XV van de „Oeuvres Complètes de Christiaan Huygens" zullen verschijnen), en overtuigde zich onder medewerking van den zeer kritisch aangelegden Hoogleeraar F. Kaiser, dat de letters op de lens nauwkeurig met het schrift van Huygens overeenkwamen.

Het is eigenaardig, dat Huygens steeds spreekt van een glas van 12 (Rijnlandsche) voeten (d.i. 377 c.M.), terwijl de brandpuntsafstand van de te Utrecht gevonden lens volgens Harting 317 c.M., volgens latere bepalingen 332 c.M. bedroeg. Intusschen is het wel zoo goed als zeker, dat Huygens en zijn tijdgenooten onder een glas van 12 voet een lens verstonden, die als objectief dient voor een kijker met een *buis* van 12 voet lengte.

De spreker van heden avond heeft de lens „Admovere" in 1898 onderzocht, en vergeleken met een iets kleinere, eveneens uit de tweede helft der 17e eeuw stammende, lens van Campani van ongeveer denzelfden brandpuntsafstand; deze laatste lens won het verre van het glas van Huygens, dat

in het bijzonder de vaste sterren zeer onzuiver afbeeldde.

Huygens heeft de lens „Admovere" tot Februari 1656 gebruikt. Met een oculair van bijna 3 Rijnlandsche duimen brandpuntsafstand vormde zij een kijker van ongeveer 50-voudige vergrooting; het veld mat 30'. Van 1656 tot 1675 schijnt Huygens steeds kijkers van 21—23 voet gebruikt te hebben, terwijl hem in 1665 bij de waarneming eener komeet bovendien een kleine kijker (van slechts 6 voet) goede diensten bewees. Tijdens zijn langdurig verblijf te Parijs — dat met twee tusschenpoozen van April 1666 tot September 1681 duurde — leerde Huygens de voortreffelijke eigenschappen der lenzen van Giuseppe Campani kennen, en gezamenlijk met zijn broeder Constantijn wierp hij zich van 1682 af weer met enthousiasme op het lenzen slijpen, totdat, zooals wij reeds zagen, een vrij ernstig lichamelijk ongemak hem in 1686 dezen arbeid voor goed deed staken.

De uit dezen tijd dateerende lenzen zijn van allerlei grootten. Men vindt er van 10, 13, 20, 35, 45, 60, 85 en zelfs van 120—125 voet. Constantijn ging nog verder en vervaardigde lenzen van 170 en 210 voet brandpuntsafstand. Op de allergrootste na zijn zij ook werkelijk in gebruik geweest. Er bestaan schetsen, door Huygens van Jupiter en Saturnus vervaardigd met kijkers van 60, 85 en 122 voet.

De Utrechtsche Sterrewacht bezit een lens van 18.5 c.M. middellijn, die blijkens het ingekraste randschrift CHR. HVGENIVS F. PED. CXXIV, 5 Febr. 1686, een brandpuntsafstand van 124 Rijnlandsche voeten, of bijna 39 Meter bezit.

De met dergelijke lenzen voorziene kijkers werden aan een mast van 61 voet hoogte met takels en katrollen opgeheschen, en in 1686 heeft Huygens zelfs met een mast van 105 voet hoogte gewerkt. Het is haast onbegrijpelijk, hoe hij met deze onhandelbare instrumenten de dagelijksche be-

weging des hemels heeft kunnen volgen en betrouwbare waarnemingen verrichten. Ten slotte is hij toch van die allergrootste kijkers teruggekomen en hoopt hij met kijkers van 34 voet brandpuntsafstand en 6 duim middellijn de door Cassini ontdekte wachters van Saturnus even goed als met den kijker van 120 voet te kunnen zien. Vermeld moet nog worden, dat Huygens in 1683 op het denkbeeld komt, buislooze kijkers aan te wenden. In zijn *Astroscopia compendiaria* geeft hij er een uitvoerige beschrijving en een afbeelding van. Uit de jaren 1683 en 1684 zijn er eenige voortreffelijke schetsen van Saturnus bewaard gebleven, vervaardigd met een buisloozen kijker van 34 voet; ook heeft Huygens er in 1685 een van 43 voet gebruikt.

Blijkens een te Leiden aanwezigen brief waren in 1722 al de glazen der gebroeders Huygens (zeker een 40-tal) nog in handen der erfgenamen.

Thans zijn er van de door Christiaan geslepen lenzen nog zeven bewaard: vier te Leiden (waarvan er een in een blikken buis met een 3-deelig oculair tot een aardschen kijker is gemonteerd), twee te Utrecht en één te Amsterdam. Alleen van de lens „Admovere" weet men, welke waarnemingen er mede verricht zijn.

Huygens heeft zich niet bepaald tot het slijpen van lenzen. In zijn werken vindt men hoogst belangrijke, zeer uitvoerige, onderzoekingen over de theorie der lenzen, de sferische aberratie, de beste constructie der oculairen, en de vergrooting der kijkers. Ook construeerde hij verschillende mikrometers en mat daarmede de middellijn der planetenschijven; de resultaten dezer metingen overtreffen in nauwkeurigheid verre die van zijn voorgangers en tijdgenooten.

In het geschrift van 1656 *De Saturni lunâ observatio nova* beschreef Huygens de ontdekking van Titan en kondigde hij de ontraadseling aan van het geheim der wonderlijke

„aanhangsels" van Saturnus met het anagram: *aaaaaaacc cccdeeeeeghiiiiiiillllmmnnnnnnnnnnoooooppqrrsttt ttuuuuu*, waarvan hij in zijn *Systema Saturnium* (1659) de oplossing gaf: *Annulo cingitur, tenui, plano, nusquam cohaerente, ad eclipticam inclinato* [1]).

Op meesterlijke wijze wordt in dit merkwaardige geschrift bewezen, dat alle andere hypothesen onhoudbaar zijn, en dat alleen een platte ring, die vrij om den bol zweeft, van alle verschijnselen behoorlijk rekenschap geeft. Huygens voorspelt, dat Saturnus zich van Augustus 1671 tot Augustus 1672, van Maart 1685 tot Maart 1686 en van het eind van 1700 tot het begin van 1702 zonder „hengsels" zal vertoonen. Deze voorspellingen zijn op eenige kleinigheden na schitterend uitgekomen, en hebben ten slotte de talrijke tegenstanders van de ringhypothese, die den ring, als iets ongewoons en ongehoords, niet in het louter uit bollen bestaande zonnestelsel accepteerden, overtuigd van hare juistheid.

Christiaan Huygens is een der grootste Wiskundigen en Natuurkundigen van alle tijden; als Sterrekundige levert hij ons het merkwaardige en zeldzame schouwspel van een man, die uitvoerige theoretische onderzoekingen omtrent een instrument (den kijker) verrichtte, zelf naar de uitkomsten dezer onderzoekingen de instrumenten vervaardigde, er talrijke waarnemingen mede deed en wederom zelf op deze waarnemingen uitvoerige theorieën bouwde. Van een dergelijke veelzijdigheid is misschien in de geheele Wetenschap geen tweede voorbeeld bekend, zeker niet in de Sterrekunde.

---

[1]) Saturnus is omgeven door een dunnen platten ring, die nergens met de planeet samenhangt en een hoek maakt met de ekliptika.